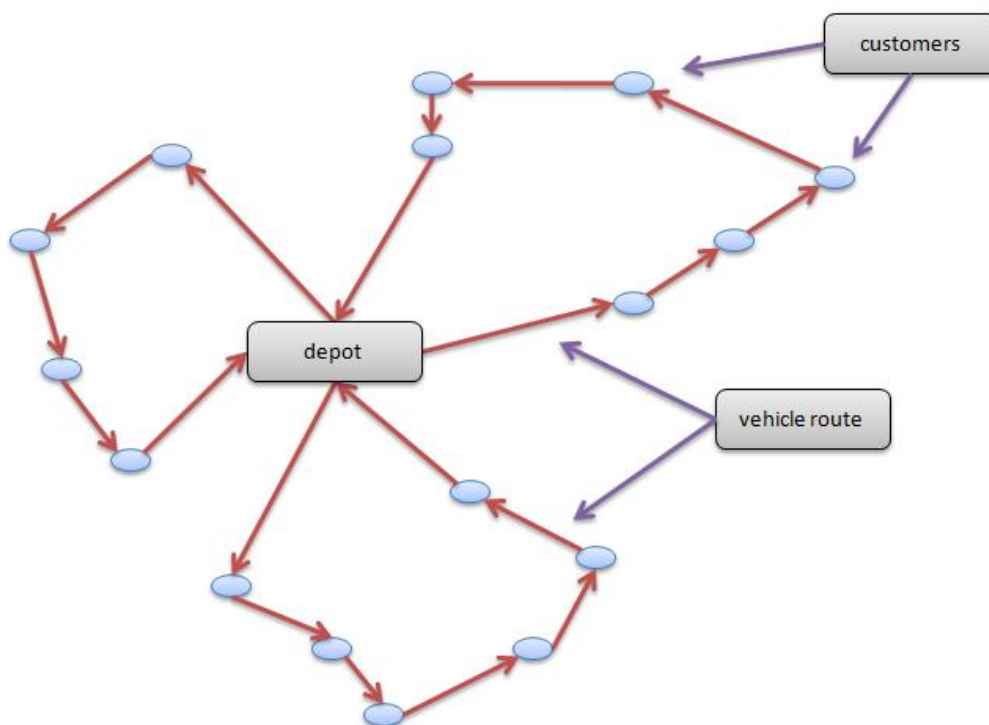




**ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ**



ΧΑΒΔΟΥΛΑΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ

A.M. 2003010127

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΡΙΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1: Εφοδιαστική αλυσίδα και logistics

1.1	Αναφορά στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	5
1.1.1	Ορισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	5
1.1.2	Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	7
1.2	Ορισμός των Logistics.....	7
1.2.1	Στόχοι και χαρακτηριστικά της στρατηγικής των Logistics.....	8
1.3	Εφοδιαστική αλυσίδα και logistics.....	9
1.3.1	Οφέλη από τον τομέα των logistics και της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	9
1.3.2	Τεχνολογίες e-logistics.....	10

Κεφάλαιο 2: Διατύπωση του προβλήματος

2.1	Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (Traveling Salesman Problem – TSP).....	12
2.1.1	Εισαγωγή.....	12
2.1.2	Μαθηματική διατύπωση.....	12
2.2	Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Problem - VRP).....	15
2.2.1	Εισαγωγή.....	15
2.2.2	Μαθηματική διατύπωση.....	17
2.2.3	Ορισμός και περιορισμοί του προβλήματος.....	18
2.3	Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Αποθεμάτων (Inventory Routing Problem – IRP).....	21
2.3.1	Εισαγωγή.....	21
2.3.2	Ανάλυση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων.....	22
2.3.3	Η έννοια του «χρόνου κύκλων» και των «πολλαπλών διαδρομών»	23
2.3.4	Η μεικτή διατύπωση ακέραιων αριθμών του προβλήματος.....	27
2.3.5	Μοντέλα και προσεγγίσεις λύσεων του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων.....	28
2.3.6	Προσέγγιση λύσεων.....	31
2.3.6.1	Το μοντέλο γέννησης μητρών.....	31
2.3.6.2	Ευρετική μέθοδος γέννησης πολλαπλών διαδρομών.....	32

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή αλγόριθμων επίλυσης

3.1	Ευρετικές μέθοδοι.....	34
3.1.1	Αλγόριθμοι απληστίας.....	34
3.1.1.1	Πλανόδιος πωλητής – Διαδικασία εισαγωγής κόμβων.....	34
3.1.2	Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.....	35
3.1.2.1	Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων – Ο αλγόριθμος εξοικονομήσεως των Clarke και Wright (The savings algorithm).....	35
3.1.3	Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης.....	36
3.1.3.1	Η μέθοδος 2- opt.....	36
3.1.3.2	Η μέθοδος 3- opt.....	37
3.1.3.3	Η μέθοδος 2- opt exchange.....	38
3.1.3.4	Or- βέλτιστο... ..	38
3.1.4	Αλγόριθμος Sweep.....	39
3.2	Μεθευρετικές μέθοδοι.....	40
3.2.1	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization).....	41

3.2.2	Αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης (Tabu Search - TS).....	41
3.2.3	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO).....	42
3.2.4	Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms - GA).....	42
3.2.5	Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing).....	43

Κεφάλαιο 4: Γενετικοί Αλγόριθμοι

4.1	Ιστορική αναδρομή.....	45
4.2	Η ελκυστικότητα της εξέλιξης.....	46
4.3	Όροι της βιολογίας.....	48
4.4	Γενική μορφή του γενετικού αλγόριθμου.....	49
4.5	Πλεονεκτήματα των γενετικών αλγόριθμων.....	52
4.6	Τι προκαλεί δυσπιστία.....	54

Κεφάλαιο 5:

5.1	Περιγραφή του προβλήματος.....	56
5.2	Τρόπος επίλυσης.....	56
5.3	Συμπεράσματα αποτελέσματα.....	58

Παράρτημα

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

Η διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας αναφέρεται στο σχεδιασμό και τη διαχείριση όλων των ενεργειών και δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις διαδικασίες προμήθειας, και όλες τις δραστηριότητες διανομής. Κατ' ουσία, η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας ενοποιεί και ολοκληρώνει το σχεδιασμό, τις προμήθειες, την παραγωγή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και τις πωλήσεις τόσο μέσα στις επιχειρήσεις όσο και μεταξύ αυτών. Ο αντικειμενικός λοιπόν σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η αύξηση της συνολικής κερδοφορίας κατά μήκος της αλυσίδας που συνεπάγεται την αύξηση της κερδοφορίας όλων των εταίρων της.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθούμε με την επίλυση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις οι οποίες ασχολούνται με την διανομή προϊόντων και πιο συγκεκριμένα με το Πρόβλημα Δρομολόγησης Αποθεμάτων, γνωστό και ως Inventory Routing Problem (IRP). Η προσέγγιση του προβλήματος αυτού θα γίνει με τη χρήση ενός γενετικού αλγόριθμου με σκοπό τον υπολογισμό ενός βέλτιστου πλήθους διαδρομών που θα υπακούουν σε συγκεκριμένες παραμέτρους.

Συνοπτικά:

- Στο Κεφάλαιο 1 αναφέρονται και αναλύονται τα θέματα τα οποία αφορούν η εφοδιαστική αλυσίδα και τα logistics.
- Στο Κεφάλαιο 2 διατυπώνεται το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και τέλος το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων το οποίο είναι και το πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε στην εργασία αυτή.
- Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια σύντομη περιγραφή αλγόριθμων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων και δρομολόγησης αποθεμάτων.
- Στο Κεφάλαιο 4 αναλύουμε τους γενετικούς αλγόριθμους, το θεωρητικό τους υπόβαθρο καθώς και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν.
- Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε το πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίσαμε, τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε.

Κεφάλαιο 1: Εφοδιαστική αλυσίδα και logistics

1.1 Αναφορά στην εφοδιαστική αλυσίδα

Οδηγούμενοι από την παγκοσμιοποίηση και τις διαρκώς εκτεινόμενες απαιτήσεις των πελατών, η Εφοδιαστική Αλυσίδα (supply chain) παίζει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία πλεονεκτήματος για όλες τις επιχειρήσεις. Η ανάπτυξη μιας πλήρους και ανταποκρινόμενης Εφοδιαστικής Αλυσίδας που να καλύπτει τις απαιτήσεις των πελατών και να εξασφαλίζει αύξηση τόσο των μεριδίων της αγοράς όσο και της κερδοφορίας είναι κρίσιμη.

Γίνεται πλέον ορατό ότι στο άμεσο μέλλον ο επιχειρηματικός ανταγωνισμός δεν θα γίνεται σε επίπεδο επιχειρήσεων αλλά εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς το e-Business και η τεχνολογία της πληροφορικής θα αλλάξουν δραστικά τις απαιτήσεις και τους κανόνες του επιχειρήν.

1.1.1 Ορισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας

Με τον όρο "εφοδιαστική αλυσίδα" περιγράφεται το πλέγμα διαδικασιών που απαιτούνται ώστε ένα προϊόν να περάσει από τη φάση της παραγωγής στη φάση της κατανάλωσης. Μεταξύ των διαδικασιών αυτών ξεχωρίζει η παραγωγή, η τυποποίηση, η αποθήκευση, η διακίνηση και η διάθεση του προϊόντος. Ο όρος αυτός δεν αφορά μόνο την ροή υλικών από τον προμηθευτή πρώτων υλών ή τον κατασκευαστή μέχρι τον τελικό καταναλωτή, αλλά παράλληλα και τη ροή πληροφοριών μεταξύ των μελών της ίδιας αλυσίδας. Η διαχείριση της γίνεται σε δύο επίπεδα.

Επίπεδο προγραμματισμού: στο επίπεδο αυτό, αναλύονται τα δεδομένα προμηθειών, αναλώσεων παραγωγής, αποθεματοποίησης και πωλήσεων, γίνονται προβλέψεις και πλάνα πάνω στα οποία βασίζεται ο προγραμματισμός.

Επίπεδο εκτέλεσης: στο στάδιο αυτό εκτελείται το πλάνο που έχει καθοριστεί στο επίπεδο προγραμματισμού και παρακολουθείται η εξέλιξη του βάσει των δεδομένων και πληροφοριών που συλλέγονται από όλο το εύρος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας.

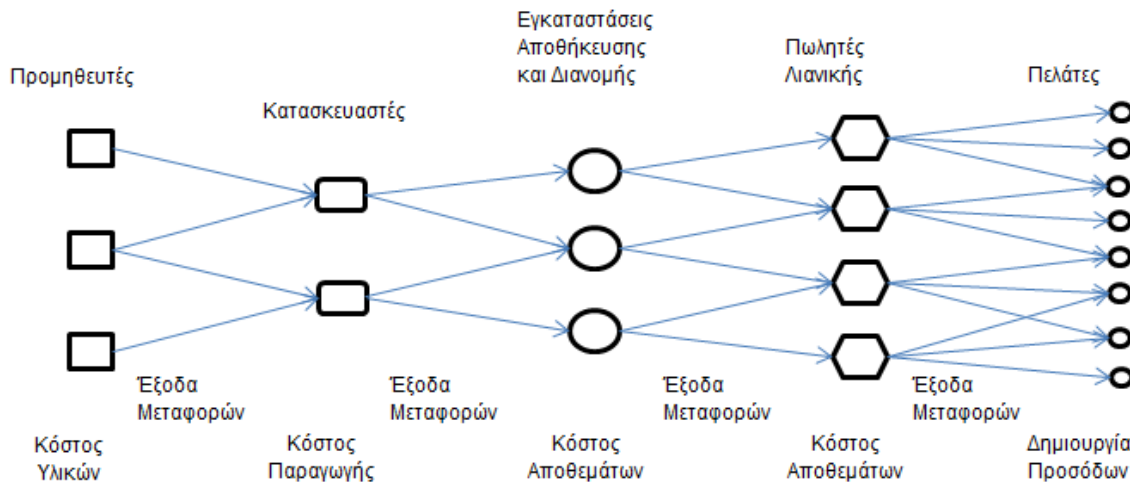
Η Εφοδιαστική Αλυσίδα αποτελεί ένα βασικό συντελεστή για την εφαρμογή του μάνατζμεντ. Ασχολείται με τον σχεδιασμό και την υλοποίηση των αποφάσεων και της στρατηγικής ενός οργανισμού, λαμβάνοντας υπόψη μοντέλα και τεχνικές λήψης αποφάσεων, τη σύγχρονη τεχνολογία της πληροφορικής και των επικοινωνιών, και το επιχειρησιακό περιβάλλον. Προϋποθέτει λοιπόν μια σφαιρική αντιμετώπιση όπου, προκειμένου να ληφθεί και να υλοποιηθεί με επιτυχία μια περίπλοκη απόφαση, λαμβάνονται υπόψη και καλλιεργούνται οι απαιτούμενες προϋποθέσεις, όπως το οργανωσιακό κλίμα, οι ανθρώπινες/ διοικητικές ικανότητες, η ύπαρξη και οργάνωση του πληροφοριακού συστήματος και δεδομένων κ.α.

Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία της Εφοδιαστικής Αλυσίδας που ακολουθείται σε κάθε εφαρμογή συμπεριλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Εντοπισμός του προβλήματος και εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης για την οριοθέτηση των συστατικών του ή των παραγόντων που το επηρεάζουν και τον προσδιορισμό των στρατηγικών- επιχειρησιακών στόχων και των περιορισμών που το διέπουν.
- Μαθηματική (π.χ. γραμμικός- ακέραιος προγραμματισμός) ή συστημική (π.χ. προσομοίωση ή μοντελοποίηση επιχειρησιακών διαδικασιών) προτυποποίηση για την ορθολογιστική απεικόνιση του προβλήματος.
- Ανάπτυξη (ή επιλογή υπαρχόντων) τεχνικών επίλυσης των προβλημάτων μέσω μαθηματικού προγραμματισμού, ευρετικών αλγορίθμων ή άλλων υπολογιστικών μεθόδων ώστε να είναι δυνατή η σύγκλιση σε μία εφικτή ή και βέλτιστη λύση.

- Υλοποίηση των τεχνικών επίλυσης σε κατάλληλη πλατφόρμα που εξαρτάται από την πληροφοριακή υποδομή της αντίστοιχης εταιρίας, την ύπαρξη πακέτων λογισμικού και τις ανάγκες για αποτελεσματικότητα και ταχύτητα στην εξεύρεση λύσεων.
- Τέλος, σχεδιασμός και σύνθεση των υποστηρικτικών πληροφοριακών συστημάτων που ενσωματώνουν τις τεχνικές επίλυσης και επιτρέπουν τη διεπαφή των μάνατζερ που πρέπει να λαμβάνουν τις αποφάσεις και των συστημάτων που περιέχουν τα δεδομένα και τις αλγοριθμικές προσεγγίσεις.

Μια εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από όλα τα στάδια που εμπλέκονται, έμμεσα ή άμεσα, στην ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη. Συνεπώς, η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από κατασκευαστές και προμηθευτές, από χώρους αποθήκευσης, κέντρα διανομών, μεταφορείς, πωλητές λιανικής, πελάτες, αλλά και από τις πρώτες ύλες, αποθέματα κατά την διαδικασία παραγωγής και έτοιμα προϊόντα που απορρέουν μεταξύ αυτών των σημείων, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα.



(Σχήμα 1.1)

Η ικανοποίηση των πελατών συνεπάγεται ότι η ανάπτυξη νέων προϊόντων, η προβολή των προϊόντων στην αγορά, η χρηματοδότηση, η εξυπηρέτηση των πελατών κ.α., αποτελούν επίσης συστατικά στοιχεία της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι δυναμική και εμπλέκει τη ροή προϊόντων, πληροφοριών και κεφαλαίων μεταξύ των διαφόρων σταδίων. Κάθε στάδιο της αλυσίδας εκτελεί διαφορετικές διαδικασίες και αλληλεπιδρά με άλλα στάδια της αλυσίδας. Κάθε στάδιο της αλυσίδας όπως στο παραπάνω σχήμα δεν είναι κατ' ανάγκη παρόν σε όλες τις εφοδιαστικές αλυσίδες. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας εξαρτάται τόσο από τις απαιτήσεις των πελατών όσο και από τον ρόλο που διάφορα στάδια διαδραματίζουν στην ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων.

Η εφοδιαστική αλυσίδα λαμβάνει υπ' όψιν της όλα τα έξοδα που δημιουργούνται στα διάφορα στάδια καθώς και από την αλληλεπίδραση των διαφόρων σταδίων. Σε κάθε εφοδιαστική αλυσίδα υπάρχει μόνο μια πηγή προσόδων: ο πελάτης. Από την άλλη πλευρά, όλες οι ροές πληροφοριών, προϊόντων ή κεφαλαίων δημιουργούν δαπάνες. Τρία είναι κυρίως τα εν χρήσει κριτήρια για την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας:

- Το ολικό κόστος
- Το ολικό κέρδος
- Ο χρονικός κύκλος

[1]

1.1.2 Σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας

Ο βασικός σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να μεγιστοποιήσει την ολική αξία, όπου η αξία αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ του τι αξίζει το τελικό προϊόν για τον πελάτη και την προσπάθεια που καταβλήθηκε από την εφοδιαστική αλυσίδα για να ικανοποιήσει την απαίτηση του πελάτη. Συνεπώς ο σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να καταστήσει εφικτή και αποτελεσματική ως προς το κόστος καθ' όλο το μήκος του συστήματος. Η έμφαση της διαχείρισης είναι όχι στην ελαχιστοποίηση του κόστους της κάθε δραστηριότητας χωριστά, αλλά στο να ληφθεί υπ' όψιν ολόκληρο το σύστημα. Με άλλα λόγια η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζεται σε μια συνολική προσέγγιση του συστήματος και όχι σε ξεχωριστή διαχείριση των επιμέρους στοιχείων του συστήματος. Η συνολική προσέγγιση του συστήματος προϋποθέτει την κατανόηση της κάθε δραστηριότητας και λειτουργίας που λαμβάνει χώρα στην εφοδιαστική αλυσίδα σε σχέση με την αλληλεπίδρασή της με άλλα στοιχεία της αλυσίδας. Η ιδέα βασίζεται στο ότι το αποτέλεσμα μιας σειράς δραστηριοτήτων, όπου οι αλληλεξαρτήσεις και αλληλεπιδράσεις λαμβάνονται υπ' όψιν, είναι καλύτερο από το άθροισμα των ατομικών αποτελεσμάτων των επιμέρους δραστηριοτήτων. Εάν μόνο οι επιμέρους δραστηριότητες βελτιστοποιούνται ατομικά, το συνολικό αποτέλεσμα είναι υποβέλτιστο και περαιτέρω βελτίωση είναι δυνατή δια της συνολικής προσέγγισης του συστήματος.

Παρομοίως, το ολικό κέρδος της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στο ολικό κέρδος που πρέπει να διανεμηθεί κατά μήκος της αλυσίδας, όπου η απόδοσή της δεν θα πρέπει να μετρηθεί με τα επιμέρους κέρδη των μεμονωμένων στοιχείων της.

Τέλος, ο χρονικός κύκλος είναι ο ολικός χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η ολική διαδικασία.

Συνολικά, η ολική προσέγγιση της εφοδιαστικής αλυσίδας ορισμένες φορές δεν είναι εύκολο να γίνει για δύο κυρίως λόγους:

- Διάφορα στοιχεία της αλυσίδας δύναται να έχουν διαφορετικές και πιθανώς συγκρουόμενες στοχεύσεις.
- Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δυναμικό σύστημα που εξελίσσεται συν το χρόνω. [1]

1.2 Ορισμός των Logistics

Ο όρος logistics αποτελεί πολυσήμαντη και πολυσύνθετη έννοια, καλύπτοντας μια τεράστια γκάμα διαδικασιών σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου στο επιχειρηματικό πεδίο. Τα βασικά στοιχεία που συνυφαίνουν τα logistics είναι η διοίκηση και ο στρατηγικός σχεδιασμός της επιχείρησης, η βέλτιστη αξιοποίηση των έμψυχων (ανθρώπινων) και των άψυχων (υλικών) πόρων της, η παραγωγή, η αποθήκευση και η διανομή των αγαθών, από την πρώτη ύλη μέχρι το έτοιμο προϊόν και από την παραγωγή στο ράφι. Θεωρητικά τα logistics εξυπηρετούν την κερδοφορία μιας επιχείρησης, εξασφαλίζοντας τη συνεχή διαθεσιμότητα των προϊόντων και των λοιπών πόρων της, επιτρέποντας παράλληλα την ομαλή ροή επιτέλεσης των διαδικασιών που αναφέρθηκαν παραπάνω. [12]

1.2.1 Στόχοι και χαρακτηριστικά της στρατηγικής των Logistics

Τα logistics αποσκοπούν στην παραγωγή προϊόντων με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος, στη διατήρηση των προϊόντων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, στην πλήρη αξιοποίηση των υλικών μέσων της επιχείρησης, στη μεταφορά των προϊόντων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και τις μικρότερες δυνατές καθυστερήσεις και τελικά στην επίτευξη κερδοφορίας και οικονομίας κλίμακας για την επιχείρηση.

Αν και αφορούν σε κάθε είδους επιχειρηματικό τομέα και κάθε είδους επιχείρηση, εκεί που βρίσκουν κατεξοχήν πρόσφορο έδαφος εφαρμογής είναι οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα (εμπορικές, μεταφορικές, παραγωγικές, εταιρίες αποθήκευσης κ.ά.), ανεξαρτήτως του τομέα της οικονομίας στον οποίο ανήκουν. [8]

Τα Logistics βρίσκουν εφαρμογή σε δύο κυρίως πεδία.

- Το πρώτο πεδίο είναι η επιχείρηση, η οποία πρέπει να οργανώσει την εισροή, την εσωτερική διακίνηση και την εκροή υλικών και προϊόντων κατά τέτοιον τρόπο, έτσι ώστε να εξασφαλίζει τη μέγιστη ικανοποίηση των πελατών της.
- Το δεύτερο πεδίο είναι η εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία αποτελείται από όλες εκείνες τις επιχειρήσεις και οργανισμούς που είναι απαραίτητοι έτσι ώστε ένα προϊόν, από πρώτες ύλες να καταλήξει στον τελικό πελάτη. Η αποτελεσματική οργάνωση και διοίκηση της ροής προϊόντων και πληροφοριών σε αυτήν την αλυσίδα αποτελεί επιτακτική ανάγκη σε μία παγκοσμιοποιημένη και ψηφιακή οικονομία, όπου ο ανταγωνισμός από ατομικός (επιχείρηση εναντίον επιχείρησης) γίνεται συλλογικός (εφοδιαστική αλυσίδα εναντίον εφοδιαστικής αλυσίδας).

Τα logistics αφορούν σε:

Απαιτήσεις:

Οι δραστηριότητες των logistics εμπλέκονται με την ανάλυση, σύνθεση και καθορισμό των πόρων που απαιτούνται να επιτύχουμε ένα σκοπό ή να φέρουμε σε πέρας μία επιχείρηση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Ο συνολικός στόχος, του να καθορίσουμε απαιτήσεις είναι μία λειτουργία σχεδιασμού που εμπλέκει ταυτόχρονα και την στρατηγική και τα Logistics. Ο καταμερισμός των κυρίων διαθέσιμων πόρων, αν είναι λιγότεροι από τους απαιτούμενους και η αξιολόγηση του αποτελέσματος των ελλείψεων για την επίτευξη των κυρίων στόχων, είναι κύριες ευθύνες της στρατηγικής και όχι λειτουργία των Logistics.

Σχεδιασμός:

Αυτή η λειτουργία περιλαμβάνει όλο το πλάνο του σχεδιασμού μέσα από λεπτομερή σχεδιασμό των προϊόντων, συστημάτων και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων της ανάπτυξης, δοκιμής και αξιολόγησης του σχεδιασμού. Το Logistics Engineering έχει να κάνει με τον σχεδιασμό του εφοδιασμού και της συντήρησης κάτω από το πρίσμα της αποτελεσματικότητας κόστους, σε αντίθεση του σχεδιασμού της εύκολης παραγωγής ή χρήσης.

Εφοδιασμός:

Αυτή η περιοχή εμπλέκει τον φυσικό εφοδιασμό και διανομή όλων των διαθέσιμων πόρων π.χ. προμήθειες, πρόσληψη και εκπαίδευση Προσωπικού, υποστήριξη παραγωγής, συσκευασία, Διοίκηση Αποθεμάτων, διακίνηση και μεταφορές, ιχνηλασιμότητα προϊόντων, διαδικασία παραγγελιών, αποθήκευση, αποσύρσεις, κλπ. Υπάρχουν λειτουργίες που δημιουργούν

“χρονική και χωροταξική χρησιμότητα” σε αντίθεση με τις λειτουργίες παραγωγής που χρησιμοποιούν “χρησιμότητα τυποποίησης” και τις λειτουργίες του marketing που δημιουργούν “χρησιμότητα ιδιοκτησίας”.

Συντήρηση:

Η συντήρηση εκλαμβάνεται ευρέως σαν την διατήρηση των εγκαταστάσεων, προϊόντων, ανθρώπινου δυναμικού, συστημάτων και υπηρεσιών των παραγωγών και χρηστών, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας, διατήρησης και ανάκτησης όλων των διατιθέμενων πόρων.

Πόρους:

Πρώτες ύλες (υλικά), εξοπλισμός εγκαταστάσεις, Προσωπικό, συμπεριλαμβανομένων των κεφαλαίων και πληροφοριών. Τα Logistics συχνά συνδέονται με την διοίκηση των υλικών, όμως οι τεχνικές της διοίκησης των υλικών μπορούν επίσης να εφαρμοσθούν στην διοίκηση του ανθρώπινου δυναμικού, χρημάτων και πληροφοριών.

Οι δραστηριότητες των Logistics συμπληρώνουν και υποστηρίζουν την στρατηγική και την τακτική. Υποστηρίζουν τους στόχους, τα σχέδια και τις επιχειρησιακές δραστηριότητες των συστημάτων. Τα υποστηριζόμενα συστήματα μπορεί να είναι οργανισμοί ή μεμονωμένα άτομα. Ο παραπάνω ορισμός των logistics δεν δηλώνει ότι τα logistics προσδιορίζουν τις απαιτήσεις, ούτε ότι είναι μηχανικός σχεδιασμός, ούτε ότι είναι διοίκηση. Δηλώνει μόνο ότι: όταν μία προκαθορισμένη διοίκηση, με συγκεκριμένη τεχνική μεθοδολογία και συγκεκριμένες τεχνικές δραστηριότητες, εμπλέκονται με ειδικές λειτουργίες υποστήριξης, τότε ο συνδυασμός των παραγόντων αυτών αποτελεί εφαρμογή των logistics.

Η εφαρμογή των logistics έχει διαφορετικούς τρόπους δράσης και διαφορετικά αποτελέσματα κατά περίπτωση, που εξαρτώνται από το περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσονται και τους παράγοντες που το επηρεάζουν. [13]

1.3 Εφοδιαστική αλυσίδα και logistics

Όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, logistics και εφοδιαστική αλυσίδα συνδέονται άρρηκτα. Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί το βασικότερο πεδίο εφαρμογής των logistics, τα οποία αποτελούν το βασικότερο ζητούμενο για την ορθολογικοποίηση και την επιτυχία των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα logistics απαντούν στο πώς πρέπει να οργανωθούν οι διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.3.1 Οφέλη από τον τομέα των logistics και της εφοδιαστικής αλυσίδας

Τα οφέλη που απορρέουν από την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στα logistics και την εφοδιαστική αλυσίδα είναι σε γενικές γραμμές τα ακόλουθα:

α) Καλύτερη εκμετάλλευση των υλικών (άψυχων) πόρων της επιχείρησης.

Υλικοί πόροι θεωρούνται τα οχήματα, οι αποθηκευτικοί χώροι, ο εξοπλισμός κ.λπ. Για παράδειγμα, η χρήση ενός συστήματος τηλεματικής στα οχήματα της επιχείρησης (διαχείριση στόλου, fleet management) έχει ως αποτέλεσμα πιο οργανωμένες κινήσεις και λιγότερα δρομολόγια. Σχετικά με τον αποθηκευτικό χώρο, ένα σύστημα WMS και η εγκατάσταση κάποιου ασύρματου τοπικού δικτύου έχουν ως αποτέλεσμα αφενός την αξιοποίηση κάθε

σπιθαμής της αποθήκης, αφετέρου τη γρηγορότερη επιτέλεση των διαδικασιών μέσα σ' αυτήν. Λόγου χάρη, το σκάνερ διαβάζει το γραμμωτό κώδικα μιας κούτας και στέλνει αυτόματα την πληροφορία (τι περιέχει η κούτα) σε κεντρικό υπολογιστή εφοδιασμένο με σύστημα WMS, μέσω του ασύρματου τοπικού δικτύου.

β) Καλύτερη αξιοποίηση των έμψυχων πόρων της επιχείρησης.

Εδώ εντάσσονται όχι μόνο οι εργαζόμενοι αλλά και οι πελάτες, οι προμηθευτές κ.λπ. Για παράδειγμα, ένα σύστημα ERP ή WMS ενημερώνει σχετικά με το ποιοί είναι οι επικερδείς πελάτες, εξασφαλίζει πολύτιμες εργατοώρες για το προσωπικό και συντελεί στην καλύτερη οργάνωση των εισερχόμενων ροών από τους προμηθευτές. Ο ενδιαφερόμενος δεν χρειάζεται πλέον να ασχολείται με τον έλεγχο του στοκ, αφού αυτό το έχει αναλάβει το ίδιο το σύστημα, η απογραφή αποθήκης γίνεται με το πάτημα ενός κουμπιού, ενώ το ίδιο απαιτείται για να μάθουμε τα έσοδα, τα έξοδα και τα κέρδη για μία ημέρα ή ένα μήνα. Συγχρόνως, γνωρίζει ποια είδη διακινούνται περισσότερο και αναλόγως διαμορφώνει τις παραγγελίες του. Στο επιχειρηματικό περιβάλλον, όπως αυτό διαμορφώνεται σήμερα, ζητούμενο της διοίκησης δεν είναι ο λεπτομερής έλεγχος κάθε τμήματος της επιχείρησης -καθώς κάτι τέτοιο απαιτεί πολλή ενέργεια και χρόνο- αλλά η αυτοματοποίηση διαδικασιών με τη χρήση τεχνολογικών εργαλείων. Οι τεχνολογίες που εξετάσαμε παρέχουν πλήθος πληροφοριών στη διοίκηση και τα στελέχη της επιχείρησης, ώστε να είναι δυνατή η λήψη ορθών και άμεσων αποφάσεων, καθώς και η χάραξη μακρόπνοης αναπτυξιακής στρατηγικής. [12]

1.3.2 Ψηφιακές Τεχνολογίες στην Εφοδιαστική αλυσίδα και τα logistics

Τα τελευταία χρόνια, νέες και καινοτόμες ψηφιακές τεχνολογίες έχουν εισέλθει στο χώρο των logistics και έχουν επιφέρει θεαματικές αλλαγές: εκεί που η απογραφή της αποθήκης απαιτούσε μολύβι, χαρτί και αρκετό χρόνο, τώρα πραγματοποιείται αυτόματα μέσω φορητών τερματικών (σκάνερ) και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η κακή οργάνωση της αποθήκης, ο ανεφοδιασμός χωρίς πρόγραμμα και σύστημα και τόσα άλλα αρνητικά, έχουν δώσει τη θέση τους σε ολοκληρωμένα συστήματα υψηλής ευφυΐας και αποτελεσματικότητας.

Οι ψηφιακές τεχνολογίες που απαντώνται συχνότερα στα logistics και την εφοδιαστική αλυσίδα είναι οι ακόλουθες:

α) Συστήματα πληροφορικής: Είναι εξειδικευμένες εφαρμογές λογισμικού, που αναλαμβάνουν να εξυπηρετήσουν το σύνολο των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι πιο γνωστές είναι τα συστήματα επιχειρηματικού σχεδιασμού (Enterprise Resource Planning – ERP) και τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Execution - SCE). Η συνηθέστερη μορφή των συστημάτων SCE είναι τα προγράμματα διαχείρισης αποθηκών (Warehouse Management System - WMS), τα οποία εν πολλοίς ταυτίζονται με τα συστήματα SCE.

β) Τεχνολογίες αναγνώρισης και κτήσης δεδομένων: Είναι εξειδικευμένες τεχνολογικές υποδομές (hardware και software), που συλλέγουν την πληροφορία τη στιγμή της δημιουργίας της -σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, λ.χ. μέσα στην αποθήκη- και τη μεταβιβάζουν στο εκάστοτε πρόγραμμα (λ.χ. WMS) για επεξεργασία. Τέτοιες υποδομές είναι τα φορητά τερματικά χειρός, τα τερματικά περονοφόρων οχημάτων, οι τεχνολογικές λύσεις Αυτόματης Αναγνώρισης και Κτήσης Δεδομένων (Automatic Identification and Data Capture - AIDC), στις οποίες ανήκουν ο γραμμωτός κώδικας (barcode), οι "έξυπνες" κάρτες, τα

συστήματα αναγνώρισης χαρακτήρων και οι εφαρμογές ασύρματης αναγνώρισης, ευρύτερα γνωστές με το ακρωνύμιο RFID (Radio Frequency Identification).

γ) Συστήματα Τηλεματικής: Είναι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές και αποτελούνται από πολλά μέρη hardware (πομποδέκτες, κεραίες, μικροϋπολογιστές, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, δορυφόροι) και software (συστήματα GIS, πρωτόκολλα επικοινωνίας), με βασική λειτουργία την καταγραφή της γεωγραφικής θέσης του οχήματος σε πραγματικό χρόνο και την απεικόνισή της σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Χάρη σ' αυτά, ο επιχειρηματίας μπορεί για παράδειγμα να βλέπει ανά πάσα στιγμή πού βρίσκονται τα οχήματα και τα εμπορεύματά του, ενώ οι δυνατότητες σύνδεσης και αξιοποίησης των τεχνολογιών της πρώτης και της δεύτερης κατηγορίας είναι απεριόριστες.

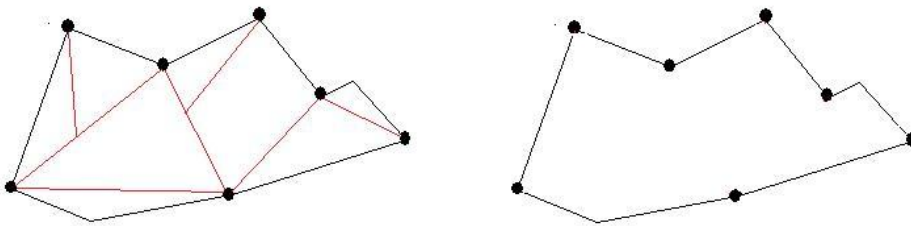
δ) Υποδομές δικτύων: Ο λόγος για τα ενσύρματα και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, που συνήθως βρίσκονται σε μια αποθήκη εξυπηρετώντας τη μετάδοση των δεδομένων από τις διάφορες φορητές συσκευές, τους υπολογιστές κ.λπ. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από υπολογιστές, καλωδίωση ή ασύρματα σημεία πρόσβασης (access points). [12]

Κεφάλαιο 2: Διατύπωση του προβλήματος

2.1 Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (Traveling salesman Problem - TSP)

2.1.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή αφορά την εύρεση της συντομότερης διαδρομής (σε χρόνο, απόσταση ή άλλο κόστος) διαδρομής για ένα όχημα (ή πωλητή) με αφετηρία κάποιο σημείο, π.χ. ένα κέντρο διανομής, και επιστροφή στο ίδιο σημείο αφού επισκεφθεί έναν σταθερό αριθμό πελατών ακριβώς μια φορά τον καθένα. Η αντίληψη που έχουμε για αυτή τη διαδρομή είναι αυτή του παρακάτω σχήματος, ένας κύκλος δηλαδή που διέρχεται από τους κόμβους που αντιστοιχούν στο σημείο αφετηρίας και τους πελάτες ακριβώς μια φορά.



(α)

(β)

Σχήμα 2.1: Η πραγματική εικόνα μπορεί να διαφέρει από την αφαιρετική εικόνα ενός γραφήματος: οι χρωματιστές γραμμές στο (α) αντιστοιχούν στο πραγματικό οδικό δίκτυο. Η κυκλική διαδρομή (β) θα πρέπει να ερμηνευθεί σωστά στο πραγματικό οδικό δίκτυο (α). [1]

2.1.2 Μαθηματική διατύπωση

Για τη διαμόρφωση ενός μαθηματικού προτύπου υποθέτουμε συνήθως ότι οι κόμβοι ανήκουν σ' ένα μη-διατεταγμένο γράφημα που είναι πλήρες. Ας είναι $i = 2, \dots, n$ οι κόμβοι των πελατών και $i = 1$ ο κόμβος αφετηρίας. Από την υπόθεση, κάθε μη-διατεταγμένο ζεύγος $\{i, j\}$ με $i \neq j$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$, αντιστοιχεί σ' ένα σύνδεσμο ή ακμή του γραφήματος. Σε κάθε τέτοιο σύνδεσμο αντιστοιχίζουμε ένα σταθμό C_{ij} που είναι ίσο με το κόστος (όπως και αν νοείται αυτό) της διαδρομής του οχήματος από το i στο j ή αντίστροφα. Επειδή ένας τέτοιος σύνδεσμος δεν αντιστοιχεί πάντοτε σε κάποιο φυσικό τμήμα δρόμου (βλέπε Σχήμα 2.1) θα υποθέσουμε ότι τα σταθμά έχουν υπολογισθεί έτσι ώστε ν' αντιστοιχούν στην διαδρομή ελαχίστου κόστους μεταξύ των δύο κόμβων, οπότε ικανοποιούν τις δύο συνθήκες:

1.συμμετρία: $C_{ij} = C_{ji}$, $i \neq j$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$

2.τριγωνική ανισότητα: $C_{ij} \leq C_{ik} + C_{kj}$, $i \neq j \neq k$, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, n$

οι οποίες υπό αυτές τις συνθήκες είναι φυσιολογικές, καθώς η μεν πρώτη απεξαρτεί το κόστος του απευθείας ταξιδιού μεταξύ i και j από την κατεύθυνση, ενώ η δεύτερη διατυπώνει ότι ο συντομότερος δρόμος μεταξύ δύο σημείων είναι απευθείας.

Αν ορίσουμε τις δυαδικές μεταβλητές

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{εάν το όχημα κάνει χρήση του συνδέσμου } \{i, j\} \\ 0, & \text{αλλιώς, } \forall i, \forall j, i \neq j \end{cases}$$

τότε το πρότυπο διαμορφώνεται ως εξής:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

$$\text{υπό } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 2, i=1, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in \bar{C}} x_{ij} \geq 1, \forall C \subset \{1, \dots, n\}, C \neq \emptyset \quad (2.3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, \forall j, i \neq j \quad (2.4)$$

Οι περιορισμοί (2.2) επιβάλλουν στην λύση να έχει δύο συνδέσμους σε κάθε κόμβο, έτσι ώστε το όχημα να εισέλθει κατά μήκος του ενός και να εξέλθει κατά μήκος του άλλου (Σχήμα 2.1[β]), ενώ οι περιορισμοί (2.3) αποβλέπουν στην εξάλειψη κυκλικών διαδρομών (υποκύκλων) που δεν διέρχονται απ' όλους τους κόμβους απαιτώντας από κάθε εν δυνάμει υπόκυκλο, που αντιπροσωπεύεται από ένα κατάλληλο μη-κενό υποσύνολο C των κόμβων, να διαθέτει στην λύση τουλάχιστον ένα σύνδεσμο που οδηγεί στο συμπληρωματικό του υποσύνολο $\bar{C} = \{1, \dots, n\} \setminus C$.

Όταν η φορά του οχήματος, εάν δηλαδή κινείται από το i στο j ή από το j στο i , παίζει ρόλο, τότε το γράφημα αποτελείται από τόξα που αντιστοιχούν στα διατεταγμένα ζεύγη (i, j) και (j, i) αντίστοιχα και ως τέτοια $(i, j) \neq (j, i)$. Υπό αυτές τις συνθήκες η συνθήκη συμμετρίας δεν ισχύει οπότε $c_{ij} \neq c_{ji}$ τουλάχιστον για κάποια i και j . Το μαθηματικό πρότυπο σε αυτήν την περίπτωση διαμορφώνεται από το (2.1)-(2.4), αντικαθιστώντας όμως τον περιορισμό (2.2) με δύο νέους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i=1, \dots, n \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

Όπου ο μεν πρώτος εγγυάται ότι το όχημα εξέρχεται από τον κόμβο i χρησιμοποιώντας ένα ακριβώς τόξο προς κάποιον άλλο κόμβο j , ενώ ο δεύτερος εγγυάται ότι το όχημα εισέρχεται στον κόμβο j χρησιμοποιώντας ένα ακριβώς τόξο από κάποιον άλλο κόμβο i .

Αμφότερα τα πρότυπα έχουν ένα μειονέκτημα: ο αριθμός των περιορισμών (2.3) αυξάνει εκρηκτικά με τον αριθμό κόμβων. Υπάρχει η δυνατότητα διατύπωσης προτύπου με περιορισμένο αριθμό περιορισμών. Για τον λόγο αυτό θα θεωρήσουμε ότι στη αφετηρία παράγεται μια μονάδα κάποιου αγαθού για κάθε πελάτη και ότι τα αγαθά αυτά δεν αναμειγνύονται. Επιπρόσθετα θα δημιουργήσουμε έναν ακόμα πελάτη $n_0 = n + 1$ δημιουργώντας ένα αντίγραφο της αφετηρίας (μαζί με τα τόξα που της ανήκουν). Έτσι για κάθε τόξο (i, j) ορίζουμε τις μεταβλητές y_{ij}^k που αναφέρει την ποσότητα (από τη μία μονάδα) που διακινείται στο τόξο με προορισμό τον πελάτη k , $k = 2, \dots, n_0$. Το πρότυπο δύναται τότε να διατυπωθεί ως ακολούθως:

$$\text{Ελαχιστοποίηση του: } \sum_{i=1}^{n_0} \sum_{j=1}^{n_0} c_{ij} x_{ij} \quad (2.7)$$

$$\text{Υπό: } \sum_{j=1}^{n_0} x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, \dots, n_0 \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1}^{n_0} y_{ij}^k - \sum_{j=1}^{n_0} y_{ji}^k = \begin{cases} 1, & \text{εάν } i=1 \\ -1, & \text{εάν } i=k, \forall i, \forall k \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$y_{ij}^k \leq x_{ij}, \forall i, \forall j, i \neq j, \forall k \quad (2.11)$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \forall i, \forall j, i \neq j \quad (2.12)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \forall i, \forall j, i \neq j \quad (2.13)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση 2.7 και οι περιορισμοί 2.8 - 2.9 και 2.13 παραμένουν στην ουσία οι ίδιοι με πριν, ενώ οι περιορισμοί 2.3 έχουν αντικατασταθεί από τους 2.10, 2.11 και 2.12 που ο αριθμός τους $O(\eta^3)$ συγκριτικά με τον αριθμό $O(2^n)$ των προηγούμενων προτύπων. Φυσικά το επιτύχαμε αυτό εισάγοντας $O(\eta^3)$ νέες μεταβλητές.

Οι περιορισμοί 2.10 είναι οι γνωστές εξισώσεις ισορροπίας της ροής και εγγυώνται ότι η μία μονάδα από το σημείο αφετηρίας με προορισμό τον πελάτη k αφικνείται στον προορισμό της χωρίς ν' απορροφηθεί ενδιάμεσους κόμβους i . Οι περιορισμοί αυτοί διατυπώνονται για κάθε κόμβο i και κάθε πελάτη k στην μορφή εκροή από τον κόμβο i — εισροή στον κόμβο i . Τέλος οι περιορισμοί 2.11 εγγυώνται ότι το αγαθό με προορισμό τον πελάτη k κινείται μόνον σε τόξα για τα οποία $X_{ij} = 1$, τόξα με άλλα λόγια που έχουν επιλεγεί για την βέλτιστη λύση.

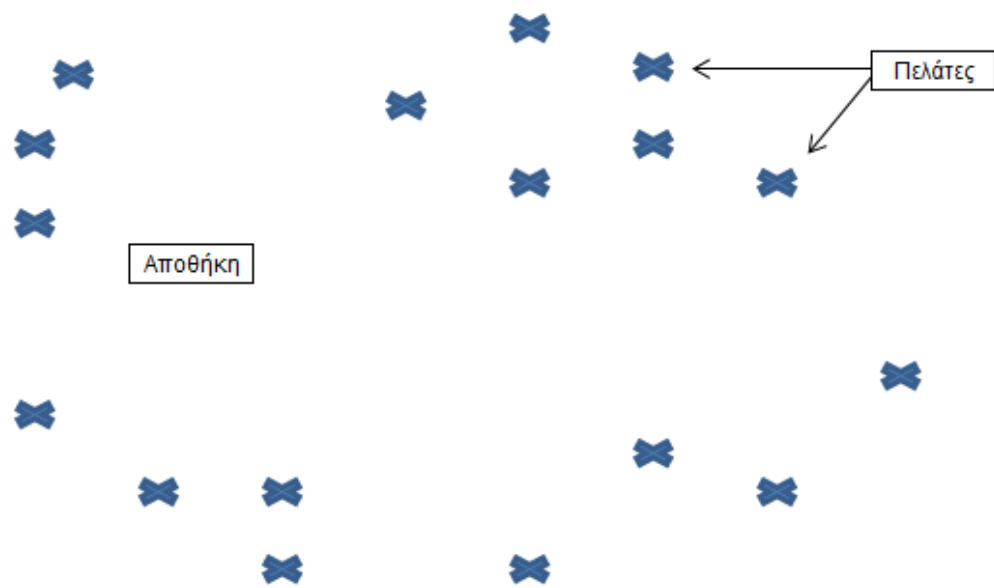
Στο πρότυπο αυτό κάθε εφικτή λύση έχει αναγκαστικά, όπως το επιβάλλουν οι περιορισμοί 2.8 και 2.9, ένα τόξο εισόδου και ένα τόξο εξόδου για κάθε έναν από τους κόμβους με εξαίρεση τον κόμβο αφετηρίας 1 όπου ζητούμε μόνον ένα τόξο εξόδου και το αντίγραφο του n_0 όπου απαιτούμε μόνον ένα τόξο εισόδου. Οι περιορισμοί ροών απαιτούν την επιλογή αυτών των τόξων με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει δυνατότητα για κάθε αγαθό να αφιχθεί στον προορισμό του και άρα πρέπει η εφικτή λύση να προδιαγράφει μία πλήρη διαδρομή από την αφετηρία σε κάθε πελάτη συμπεριλαμβανομένου και του n_0 . Για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης αρκούν $n_0 - 1$ τόξα για την δημιουργία μιας διαδρομής που από την αφετηρία εξυπηρετεί όλους τους $n_0 - 1$ πελάτες. Η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, και εφόσον όλα τα C_{ij} είναι θετικά, δεν πρόκειται να επιτρέψει την χρήση περισσότερων τόξων. Άρα η βέλτιστη λύση θα αποτελείται από n τόξα τα οποία, εάν συμπτύξουμε την αφετηρία και το αντίγραφό της, θα μας δώσουν τον ζητούμενο κύκλο του πλανόδιου πωλητή. [2]

2.2 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Problem - VRP)

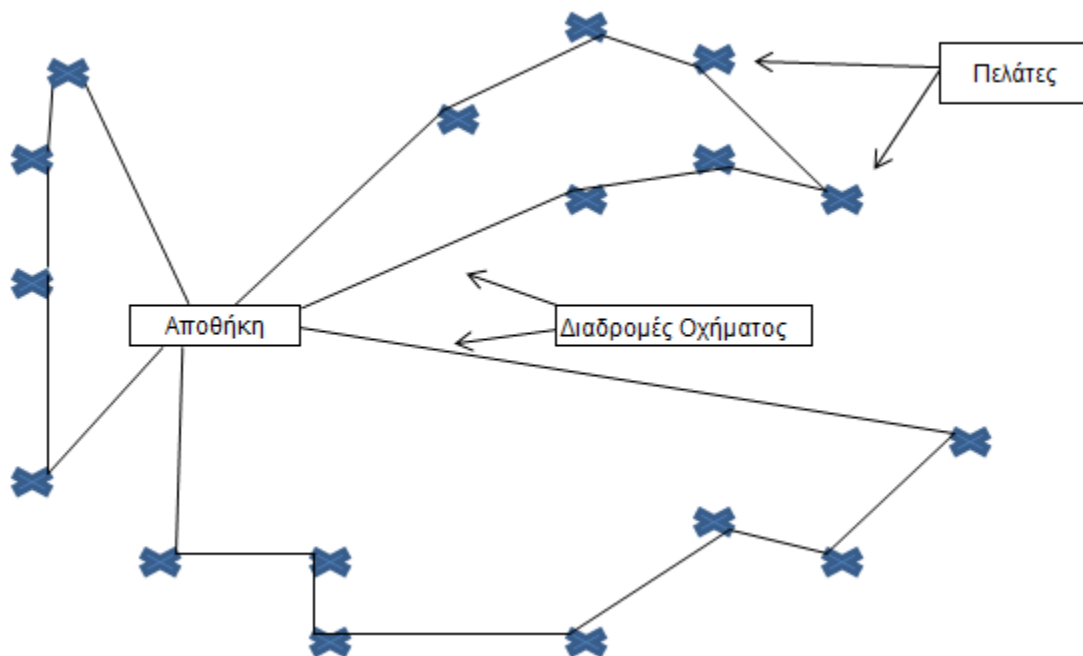
2.2.1 Εισαγωγή

Το Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Problem) είναι ένα από τα πλέον δύσκολα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Έχοντας οριστεί πάνω από 40 χρόνια, το πρόβλημα αυτό συνίσταται στο σχεδιασμό του βέλτιστου συνόλου διαδρομών ενός στόλου οχημάτων, προκειμένου να εξυπηρετήσει μια συγκεκριμένη ομάδα πελατών. Η βελτιστοποίηση αυτή αφορά την παράδοση ή και την παραλαβή προϊόντων στους/ από τους πελάτες τα οποία προκύπτουν στα πλαίσια των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων μεταφοράς. Τα προβλήματα αυτά εντάσσονται στα πλαίσια της ιεραρχικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διανομή προϊόντων αφορά την εξυπηρέτηση, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο ένα σύνολο από πελάτες από ένα σύνολο από οχήματα, που έχουν σαν αφετηρία τους μια συγκεκριμένη αποθήκη, χρησιμοποιούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό από οδηγούς, και πραγματοποιούν τις κινήσεις τους χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο οδικό δίκτυο. Γενικά, η σωστή επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων έχει σαν αποτέλεσμα τον καθορισμό ενός συνόλου από διαδρομές, κάθε μια από αυτές ξεκινά και καταλήγει σε μια αποθήκη, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των πελατών, μη παραβιάζοντας κάποιον από τους περιορισμούς και έχοντας ελαχιστοποιήσει το κόστος διανομής. Στα δύο παρακάτω σχήματα μπορούμε να δούμε την εικόνα μιας χαρακτηριστικής εισόδου για ένα πρόβλημα VRP και ένα από τα πιθανά αποτελέσματά της.



(Σχήμα 2.2 - Είσοδος Προβλήματος VRP)



(Σχήμα 2.3 - Πιθανό Αποτέλεσμα του VRP)

Το VRP είναι ένα γνωστό πρόβλημα προγραμματισμού ακέραιων αριθμών και η υπολογιστική προσπάθεια που απαιτείται για τη λύση ενός τέτοιου προβλήματος αυξάνεται εκθετικά με το μέγεθος του προβλήματος. Για τέτοια προβλήματα είναι συχνά επιθυμητό να ληφθούν οι κατά προσέγγιση λύσεις, έτσι ώστε να μπορεί να βρεθεί αρκετά γρήγορα μια λύση η οποία να είναι

και αρκετά ακριβής. Συνήθως αυτός ο στόχος επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση διάφορων ευρετικών μεθόδων, οι οποίες στηρίζονται σε κάποια διορατικότητα όσον αφορά τη φύση προβλήματος. [14]

2.2.2 Μαθηματική διατύπωση

- $V = \{u_0, u_1, \dots, u_n\}$ όπου το V είναι ένα σύνολο κόμβων, όπου:
 - ο Μια αποθήκη στο u_0 .
 - ο Έστω το $V' = V \setminus \{u_0\}$ που χρησιμοποιείται ως ένα σύνολο n πόλεων.
- $A = \{(u_i, u_j) / (u_j, u_i)\} \in V; i \neq j$, όπου το A είναι ένα σύνολο τόξων.
- Το C είναι ένας πίνακας μη-αρνητικών κοστών ή αποστάσεων c_{ij} μεταξύ των πελατών u_i και u_j .
- Το d είναι ένα διάνυσμα το οποίο αφορά τη ζήτηση των πελατών.
- Το R_i είναι η πορεία που ακολουθεί το όχημα i .
- Το m είναι ο αριθμός των οχημάτων (τα οποία είναι πανομοιότυπα). Στο κάθε όχημα ανατίθεται μια διαδρομή.

Όταν ισχύει $c_{ij} = c_{ji}$ για κάθε $(u_i, u_j) \in A$ το πρόβλημα είναι συμμετρικό και είναι σύνηθες να αντικαθίσταται το σύνολο A από το σύνολο $E = \{(u_i, u_j) | u_i, u_j \in V; i < j\}$.

Ο κάθε κόμβος u_i στο σύνολο V' συνδέεται με μια ποσότητα q_i των αγαθών που πρέπει να παραδοθούν από ένα όχημα. Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων συνίσταται όμως και στον καθορισμό του πλήθους m οχημάτων που πραγματοποιούν διαδρομές ελάχιστου κόστους, οχημάτων που ξεκινούν και καταλήγουν σε μια αποθήκη. Πρέπει επίσης το κάθε όχημα να "επισκέπτεται" τον κάθε κόμβο του συνόλου V' μόνο μια φορά.

Για διευκόλυνση όσον αφορά τους υπολογισμούς μπορεί να οριστεί το $b(V) = [\sum_{u_i \in V} d_i / C]$, το οποίο είναι ένα κατώτερο όριο του αριθμού των οχημάτων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση των πελατών που ανήκουν στο σύνολο V .

Ορίζουμε επίσης έναν χρόνο εξυπηρέτησης δ_i , που είναι ο απαιτούμενος χρόνος για την εκφόρτωση μιας ποσότητας q_i σε ένα πελάτη u_i . Πρέπει επίσης να ικανοποιείται ο περιορισμός ότι ο συνολικός χρόνος της διαδρομής ενός οχήματος (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου εξυπηρέτησης) να μην ξεπερνάει ένα δεδομένο όριο D , έτσι ώστε το κόστος c_{ij} να είναι το κόστος διαδρομής μεταξύ των πόλεων/ πελατών.

Το κόστος μιας δεδομένης διαδρομής ($R_i = \{u_0, u_1, \dots, u_{m+1}\}$), όπου $u_i \in V$ και $u_0 = u_{m+1} = 0$ (το μηδέν υποδηλώνει την αποθήκη), δίδεται από :

$$C(R_i) = \sum_{i=0}^m c_{i,i+1} + \sum_{i=1}^m \delta_i$$

Η διαδρομή R_i είναι εφικτή εάν το κάθε όχημα σταματάει ακριβώς μια φορά σε κάθε πόλη/ πελάτη και εάν η συνολική διάρκεια της συνολικής διαδρομής δεν ξεπερνάει το όριο D :

$$C(R_i) \leq D.$$

Τέλος, το συνολικό κόστος της λύσης S είναι:

$$F_{VRP}(S) = \sum_{i=1}^m C(R_i)$$

[14]

2.2.3 Ορισμός και περιορισμοί του προβλήματος

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) προκύπτει φυσικά ως το κεντρικό πρόβλημα στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και των logistics. Σε μερικούς τομείς της αγοράς, η μεταφορά των προϊόντων συνεπάγεται σε υψηλή ποσοστιαία αύξηση της αξίας των αγαθών. Επομένως, η χρησιμοποίηση των αυτοματοποιημένων μεθόδων για τη μεταφορά οδηγεί συχνά σε σημαντική αποταμίευση που κυμαίνεται συνήθως από 5% ως 20% του συνολικού κόστους. Για τον ορισμό του προς επίλυση προβλήματος ο ειδικός πρέπει να λάβει υπόψη τόσο τη φύση του προβλήματος διανομής, όσο και το μέγεθος της προς εξέταση εταιρίας. Ενδεικτικές πληροφορίες σχετικές με τις δραστηριότητες διανομής είναι οι ακόλουθες:

- Το μέγεθος του στόλου των οχημάτων που χρησιμοποιείται από την εταιρία.
- Ο αριθμός των οδηγών .
- Ο αριθμός των διαδρομών που πραγματοποιούνται καθημερινά και ο μέσος αριθμός στάσεων ανά διαδρομή.
- Οι διαδρομές εντός και εκτός πόλεως.
- Το συνολικό ετήσιο κόστος των δραστηριοτήτων διανομής.
- Το κόστος των πληρωμάτων.
- Οι μελλοντικές απαιτήσεις και προβλέψεις στον τομέα ενδεχόμενων βλαβών.
- Η τρέχουσα υπολογιστική δύναμη της εταιρίας για τη δυνατότητα υποστήριξης του δικτύου διανομής.
- Ο συνδυασμός δρομολογίων με άλλες δραστηριότητες.

Βάσει αυτών των πληροφοριών επιτυγχάνεται μια πρώτη εκτίμηση του ποσοστού από τα έξοδα της εταιρίας που θα χρησιμοποιηθούν για την μελέτη και λειτουργία του συστήματος διανομής. Έτσι, επιτρέπεται στον ειδικό να υπολογίσει το κόστος του συστήματος διανομής. Συγκρίνοντας την πρακτική της εταιρίας σε ό, τι αφορά στη διανομή των προϊόντων της με ένα πιο προηγμένο σύστημα διανομής προκύπτουν τα οφέλη από την εφαρμογή αυτού του συστήματος.

Το οδικό δίκτυο, που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των αγαθών, περιγράφεται γενικά από ένα γράφημα, του οποίου τα τόξα αντιπροσωπεύουν τους δρόμους του δικτύου και οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις αποθήκες και τις θέσεις των πελατών. Τα τόξα μπορεί να είναι προσανατολισμένα ή όχι. Κάθε τόξο γενικά συσχετίζεται με ένα κόστος, που αντιστοιχεί συνήθως στο μήκος του, και ένα χρόνο ταξιδιού.

Εκτός των πληροφοριών που προαναφέρθηκαν σχετικά με τα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος διανομής της εταιρίας, ο ειδικός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των πελατών και των οχημάτων. Συγκεκριμένα, σχετικά με τα χαρακτηριστικά των πελατών:

- Το σημείο του γραφήματος διανομής (road graph) στο οποίο βρίσκεται ο πελάτης.
- Η ποσότητα των αγαθών (demand) ενδεχομένως διαφορετικού είδους, τα οποία πρέπει είτε να παραδοθούν είτε να συλλεχθούν από τον πελάτη.
- Τα χρονικά διαστήματα (time windows) κατά τη διάρκεια της ημέρας στα οποία ο πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί (όπως για παράδειγμα εξαιτίας συγκεκριμένων

περιόδων κατά τις οποίες η εταιρία του πελάτη λειτουργεί ή η τοποθεσία του είναι προσπελάσιμη βάσει συγκοινωνιακών περιορισμών).

- Ο χρόνος που απαιτείται για την παράδοση ή τη συλλογή των πιθανών προϊόντων από τον πελάτη (unloading or loading times), πιθανότατα εξαρτώμενος από το είδος του οχήματος.
- Το είδος του οχήματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το στόλο της εταιρίας για την εξυπηρέτηση κάποιου πελάτη (όπως για παράδειγμα εξαιτίας περιορισμών πρόσβασης ή ειδικών απαιτήσεων στη φόρτωση και εκφόρτωση των προϊόντων).

Μερικές φορές δεν είναι δυνατή η πλήρης ικανοποίηση των απαιτήσεων του κάθε πελάτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ποσότητα των αγαθών που διανέμονται ή συλλέγονται μπορεί να μειωθεί ή ένα σύνολο πελατών να μην εξυπηρετηθεί. Για την αντιμετώπιση αυτών των καταστάσεων διάφορες προτεραιότητες που σχετίζονται με τη μερική ή την πλήρη έλλειψη εξυπηρέτησης μπορούν να ανατεθούν στους πελάτες.

Οι διαδρομές που εφαρμόζονται για να εξυπηρετήσουν κάποιους πελάτες ξεκινούν και καταλήγουν σε μια ή περισσότερες αποθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένους κόμβους του δικτύου. Κάθε αποθήκη χαρακτηρίζεται από τον αριθμό και το πλήθος των οχημάτων που βρίσκονται σε αυτή και από τη συνολική ποσότητα προϊόντων που μπορούν να χειριστούν. Τυπικά χαρακτηριστικά των οχημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Από ποια αποθήκη προέρχονται και αν υπάρχει πιθανότητα να τερματίσουν τη διαδρομή τους σε άλλη αποθήκη από εκείνη από την οποία ξεκίνησαν.
- Η χωρητικότητα των οχημάτων εκφρασμένη στο μέγιστο βάρος ή όγκο ή αριθμό πελατών που μπορεί να φορτωθεί στο όχημα.
- Αν τα οχήματα έχουν ένα τμήμα ή όχι και αν όχι πως θα φορτωθεί το κάθε τμήμα του οχήματος.
- Η πιθανή υποδιαίρεση των οχημάτων σε ομάδες, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητα και από το είδος των προϊόντων που μπορεί να μεταφέρει.
- Αν υπάρχουν διαθέσιμα μηχανήματα για την φόρτωση και την εκφόρτωση των οχημάτων.
- Το σύνολο των δρόμων που είναι προσπελάσιμοι από το όχημα.
- Το κόστος που σχετίζεται με τη λειτουργία του κάθε οχήματος.

Οι οδηγοί που χρησιμοποιούνται στα οχήματα πρέπει να ικανοποιούν και αυτοί ένα πλήθος από περιορισμούς, όπως κανόνες που έχει θεσπίσει το συνδικάτο (ώρες που πρέπει να δουλεύουν κάθε μέρα, χρονικές περίοδοι της ημέρας που πρέπει να κάνουν διάλειμμα, αν δικαιούνται και πως θα πληρώνονται τις υπερωρίες). Ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Οκτώ ώρες ύπνου την ημέρα υποχρεωτικά.
- Όχι περισσότερες από δέκα ώρες συνεχόμενης οδήγησης.
- Όχι περισσότερες από έξι ημέρες οδήγησης εβδομαδιαίως.
- Όχι περισσότερες από δεκαπέντε ώρες οδήγησης ημερησίως.

Οι διαδρομές θα πρέπει να ικανοποιούν έναν αριθμό από περιορισμούς, που εξαρτώνται από τη φύση των μεταφερόμενων αγαθών, από την ποιότητα του επιπέδου εξυπηρέτησης, και από διάφορα χαρακτηριστικά των οχημάτων και των πελατών. Μερικοί από τους βασικούς περιορισμούς που χρησιμοποιούνται είναι:

- Σε κάθε ξεχωριστή διαδρομή η ποσότητα που μεταφέρει το όχημα δεν μπορεί να ξεπερνά την συνολική χωρητικότητα του.
- Μπορεί να υπάρχουν πελάτες που να ζητούν μόνο τη διανομή προϊόντων, άλλοι που να ζητούν μόνο παραλαβή από αυτούς διαφόρων προϊόντων, ενώ άλλοι θα μπορούν να ζητούν και τα δύο.
- Μια παραλλαγή του παραπάνω προβλήματος είναι πελάτες που θέλουν να προμηθευτούν προϊόντα, θέλοντας να εξυπηρετηθούν πρώτοι.
- Πελάτες που μπορεί να θέλουν να εξυπηρετηθούν μόνο σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Οι οδηγοί μπορεί να δουλεύουν μόνο κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Τα οχήματα μπορεί να μεταφέρουν περισσότερα από ένα προϊόντα.

Επιπλέον περιορισμοί τίθενται σχετικά με τη σειρά εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη. Ένα είδος τέτοιων περιορισμών είναι η περίπτωση όπου ένας πελάτης απαιτεί να εξυπηρετείται ταυτόχρονα με μια ομάδα πελατών στην ίδια διαδρομή, είτε πριν είτε μετά από τους υπόλοιπους πελάτες. Αυτή είναι η περίπτωση, για παράδειγμα, των προβλημάτων που ανήκουν στην κατηγορία προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων με παράδοση και παραλαβή (pick-up and delivery problems), κατά τα οποία στη διάρκεια μιας διαδρομής μπορούν να πραγματοποιηθούν παραλαβές και διανομές αγαθών και τα αγαθά που συλλέγονται πρέπει να παραδοθούν σε πελάτες της ίδιας διαδρομής. Ένα άλλο είδος τέτοιου περιορισμού είναι η περίπτωση όπου αν πελάτες διαφορετικού είδους εξυπηρετούνται στην ίδια διαδρομή, η σειρά με την οποία πραγματοποιείται η επίσκεψη των πελατών είναι προκαθορισμένη. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται για παράδειγμα στο γνωστό ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών, όπου και πάλι οι διαδρομές ενδέχεται να περιλαμβάνουν τόσο τη συλλογή όσο και την παράδοση αγαθών, αλλά οι περιορισμοί σχετικοί με τη φόρτωση και εκφόρτωση και οι δυσκολίες στην αναδιοργάνωση του φορτίου του οχήματος κατά μήκος της διαδρομής επιτάσσει ότι όλες οι παραδόσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν πριν από τις επιμέρους συλλογές.

Σε μερικές εφαρμογές το κάθε όχημα μπορεί να πραγματοποιεί πάνω από μια διαδρομή κατά τη διάρκεια της ημέρας ή οι διαδρομές μπορούν να διαρκέσουν πάνω από μια εργάσιμη ημέρα. Επιπροσθέτως, μερικές φορές είναι απαραίτητη η χρήση στοχαστικών μεταβλητών σε περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις των πελατών δεν είναι δυνατό να είναι εκ των προτέρων γνωστές.

Το δίκτυο των διαδρομών που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των αγαθών περιγράφεται γενικά μέσω ενός γραφήματος του οποίου τα τόξα (arcs) αντιστοιχούν σε τμήματα δρόμου και οι κόμβοι (vertices) στις τοποθεσίες των πελατών. Τα τόξα, κατ' επέκταση και τα γραφήματα, μπορεί να είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης (directed or undirected), αναλόγως του αν μπορούν να διασχιστούν μόνο προς μια κατεύθυνση (που μπορεί να οφείλεται στους ισχύοντες κυκλοφοριακούς περιορισμούς) ή όχι. Κάθε τόξο σχετίζεται με ένα κόστος το οποίο αντιστοιχεί στο μήκος του και το χρόνο που απαιτείται για να το διασχίσει κάποιο όχημα. Ο χρόνος βέβαια

εξαρτάται από το είδος του οχήματος ή την χρονική περίοδο κατά την οποία πραγματοποιείται η διέλευση.

Η εκτίμηση του συνολικού κόστους των διαδρομών και ο έλεγχος των περιορισμών που προκύπτουν σε αυτές απαιτεί τη γνώση του κόστους (travel cost) και του χρόνου (travel time) που απαιτείται για να διανυθεί η απόσταση μεταξύ ενός ζεύγους πελατών ή μεταξύ πελάτη και αποθήκης. Το τελικό γράφημα των διαδρομών είναι συνήθως πολύ αραιό αλλά γενικά μετασχηματίζεται σε ένα πλήρες γράφημα (complete graph) του οποίου οι κόμβοι είναι οι τοποθεσίες που αντιστοιχούν στους πελάτες και στις αποθήκες. Για κάθε ζεύγος κόμβων i και j του πλήρους γραφήματος σχηματίζεται ένα τόξο (i, j) του οποίου το κόστος $c_{i,j}$ αντιστοιχεί στο κόστος της συντομότερης διαδρομής που ξεκινά από τον κόμβο i και καταλήγει στον κόμβο j του γραφήματος του οδικού δικτύου. Αντίστοιχα, ο χρόνος $t_{i,j}$ που σχετίζεται με το τόξο (i, j) του πλήρους γραφήματος, υπολογίζεται από το άθροισμα των χρόνων των τόξων που ανήκουν στη συντομότερη διαδρομή από τον κόμβο i στον κόμβο j στο γράφημα του οδικού δικτύου. Οι στόχοι που τίθενται στην περίπτωση επίλυσης των προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων είναι οι ακόλουθοι:

- Η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς των προϊόντων, το οποίο εξαρτάται από τη συνολική διανυθείσα απόσταση ή από το συνολικό χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά των προϊόντων και του πάγιου κόστους το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των οχημάτων και των οδηγών που θα χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση του προβλήματος.
- Η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων ή των οδηγών που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών.
- Η ισορροπία μεταξύ των διαδρομών που θα προκύψουν στο τελικό μοντέλο σχετικά με τις ώρες που απαιτούνται για να διανυθούν αυτές ή μεταξύ των φορτηγών που αντιστοιχούν σε κάθε διαδρομή.
- Η ελαχιστοποίηση των ποινών που αφορούν τη μερική ικανοποίηση των πελατών.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε συνδυασμό των παραπάνω στόχων, στον οποίο η σημαντικότητα του κάθε στόχου καθορίζεται με τη χρήση βαρών. [1]

2.3 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Αποθεμάτων (Inventory Routing Problem - IRP)

2.3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια ο ρόλος της εφοδιαστικής διαχείρισης έχει αλλάξει. Πολλές επιχειρήσεις συνειδητοποιούν ότι η αξία ενός πελάτη μπορεί, εν μέρει, να δημιουργηθεί μέσω της εφοδιαστικής διαχείρισης. Η αξία των πελατών μπορεί να δημιουργηθεί μέσα από τη διαθεσιμότητα του προϊόντος, τα χρονικά όρια που θέτονται και τη συνέπεια της παράδοσης, την ευκολία των παραγγελιών, καθώς και άλλων στοιχείων της εφοδιαστικής διαχείρισης. Κατά συνέπεια, η υλικοτεχνική υποστήριξη των υπηρεσιών αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως βασικό στοιχείο της ικανοποίησης των πελατών, σε έναν αυξανόμενο αριθμό αγορών προϊόντων.

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) συνήθως προκύπτει όταν οι καταναλωτές στηρίζονται σε έναν κεντρικό προμηθευτή για να τους παρέχει δεδομένα προϊόντα σε επαναλαμβανόμενη βάση. Για τον κεντρικό προμηθευτή, το πρόβλημα αυτό περιλαμβάνει

συνήθως την καθημερινή προδιαγραφή μιας ακολουθίας θέσεων που πρέπει να επισκεφτεί, από έναν στόλο των οχημάτων, ώστε να παραδώσει τα απαραίτητα αγαθά. Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων αντιμετωπίζει το ζήτημα του συντονισμού των πολιτικών ανεφοδιασμού προϊόντων και των σχεδίων διανομής κατά τρόπο οικονομικώς αποδοτικό. Ακριβέστερα, το IRP ενσωματώνει τις πτυχές των αποθεμάτων και διανομής στην ίδια διαδικασία προγραμματισμού. Η ιδέα της ενσωμάτωσης των δύο αυτών διαφορετικών διαδικασιών προγραμματισμού στην εφοδιαστική αλυσίδα γίνεται ολοένα και πιο δημοτικό μεταξύ και των ερευνητών και των αρμόδιων για το σχεδιασμό αλυσίδων εφοδιασμού. Στην πραγματικότητα είναι λογικό να θεωρηθεί ότι ένας καλύτερος συμβιβασμός δαπανών παραγωγής-αποθεμάτων και διανομής μπορεί να επιτευχθεί με το συντονισμό των σχεδίων παραγωγής, αποθεμάτων και διανομής.

Εάν υποθέσουμε την ειδική περίπτωση όπου ένας προμηθευτής προμηθεύει ένα προϊόν σε ένα σύνολο πελατών. Κάθε πελάτης εξυπηρετείται από συγκεκριμένο όχημα κατά τρόπο κυκλικό και κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα αποθέματα του πελάτη να μην εξαντληθούν σε καμία περίπτωση. Τα ποσοστά απαίτησης των προμηθειών του κάθε πελάτη είναι σταθερά και οι μέσοι όροι τους είναι γνωστοί στον προμηθευτή. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνολική λειτουργία του στόλου των οχημάτων, η αποθήκευση των αποθεμάτων, και οι δαπάνες διανομής πέρα από έναν πεπερασμένο ορίζοντα προγραμματισμού. Ένα νέο πρότυπο IRP προτείνεται που επεκτείνει την έννοια του ενός γύρου ενός οχήματος που χρησιμοποιείται συνήθως στα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων, στην έννοια των οχημάτων που πραγματοποιούν περισσότερους από έναν γύρο.

Στην περίπτωση που υποθέσαμε παραπάνω τα αποθέματα των πελατών θεωρήσαμε ότι δεν υπάρχει περίπτωση να εξαντληθούν μεταξύ δύο διαδοχικών προγραμματισμών ανεφοδιασμών. Το σενάριο αυτό όμως δεν είναι αυτό που ισχύει στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι υπεύθυνοι διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς τα ποσοστά απαίτησης των προμηθειών του κάθε πελάτη μπορεί να είναι γνωστά στον προμηθευτή αλλά δεν είναι απαραίτητο ότι δεν θα μεταβάλλονται, καθώς τα ποσοστά αυτά έχουν ληφθεί προσεγγιστικά. Σε περίπτωση λοιπόν που τα αποθέματα ενός πελάτη εξαντληθούν είναι απαραίτητο να γίνει μια πρόσθετη παράδοση αμέσως, η οποία βέβαια επιβαρύνει τον προμηθευτή με ένα αρκετά υψηλό κόστος. Για ένα χαρακτηριστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων, το ποσοστό κατανάλωσης ενός πελάτη είναι δύσκολο να προβλεφθεί με βεβαιότητα και στην καλύτερη περίπτωση μπορεί μόνο να αντιπροσωπευθεί από μια τυχαία μεταβλητή με τη γνωστή κατανομή πιθανότητας. Εάν κάποιος είναι πρόθυμος να υποθέσει τέτοιες κατανομές πιθανότητας, ο βασικός στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η το κόστος της αναμενόμενης συνολικής ετήσιας παράδοσης συμπεριλαμβανομένου του κόστους παράδοσης σε περίπτωση εξάντλησης των αποθεμάτων κάποιου πελάτη. Ο προγραμματισμός ενός συνολικού ετήσιου σχεδίου διανομής εκ των προτέρων, εντούτοις, θα ήταν αναξιόπιστος και επιρρεπής σε πολλές αναγκαίες ρυθμίσεις. Επιπλέον, για την υπολογιστική δυνατότητα πραγματοποίησης, τα πραγματικά σχέδια δρομολόγησης μπορούν μόνο να υπολογιστούν για πολύ έναν κοντότερο χρονικό διάστημα από έναν ετήσιο ορίζοντα. [7]

2.3.2 Ανάλυση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα περιγράψουμε το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων το οποίο σχετίζεται με την ανάπτυξη ενός κυκλικού σχεδίου διανομής ενός και μόνο προϊόντος. Το προϊόν αυτό διανέμεται από ένα μόνο κέντρο r σε μια σειρά σημείων πώλησης S . Τα σημεία πώλησης $i \in S$ καταναλώνουν/ πωλούν το προϊόν με ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης d_i μονάδων ανά ώρα και έχουν φυσικά τη δυνατότητα να διατηρούν ένα δικό τους τοπικό

απόθεμα. Ένας στόλος ομογενών οχημάτων V , όπου το κάθε όχημα έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα k , είναι διαθέσιμο για τη διανομή του προϊόντος. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν τα αναμενόμενα έξοδα διανομής και αποθήκευσης κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού χωρίς να προκληθεί εξάντληση των αποθεμάτων σε οποιοδήποτε σημείο πώλησης/ πελάτη. Ως εκ τούτου, δύο σημαντικές αποφάσεις πρέπει να παρθούν. Η πρώτη σχετίζεται με τη συχνότητα με την οποία κάθε πελάτης θα πρέπει να εξυπηρετείται (π.χ. χρόνος κύκλου), και η δεύτερη σχετίζεται με τον προσδιορισμό των διαδρομών που πρέπει να ακολουθηθούν. Φυσικά, η απάντηση/ βελτιστοποίηση καθενός από αυτά τα ερωτήματα δεν μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα από τον άλλο.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα χρησιμοποιούμε την έννοια ενός οχήματος πολλαπλών διαδρομών, πράγμα που σημαίνει ότι το πλάνο διαδρομών ενός οχήματος μπορεί να περιέχει, ενδεχομένως, περισσότερες από μία διαδρομές. Το όχημα εγκαταλείπει το κέντρο διανομής, επισκέπτεται ένα σύνολο σημείων πώλησης σε ένα πρώτο γύρο, επιστρέφει στο κέντρο διανομής που πρόκειται να ανεφοδιαστεί και ξεκινάει πάλι για να ανεφοδιάσει ένα διαφορετικό σύνολο των σημείων πώλησης. [8]

2.3.3 Η έννοια του «χρόνου κύκλων» και των «πολλαπλών διαδρομών»

Θεωρούμε ένα όχημα με χωρητικότητα k , ταξιδεύοντας με μέση ταχύτητα v , το οποίο πρέπει να ανεφοδιάσει ένα σύνολο σημείων/ πελατών C με επαναλαμβανόμενο τρόπο. Αν υποθέσουμε ότι το πλάνο ανεφοδιασμού είναι σχεδιασμένο ώστε το όχημα να φεύγει από το κέντρο ανεφοδιασμού και με μια διαδρομή να ανεφοδιάζει τα συγκεκριμένα σημεία C , τότε ο οικονομικότερος τρόπος για τον ανεφοδιασμό αυτών των σημείων, όσον αφορά το κόστος μεταφοράς, είναι να ακολουθηθεί πορεία βασισμένη στη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα για το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP).

Ο χρόνος μεταξύ δύο συνεχόμενων επαναλήψεων της περιοδείας ονομάζεται χρόνος κύκλου και συμβολίζεται με $T(C)$. Ο χρόνος κύκλου έχει ελάχιστο κατώφλι τον χρόνο περιπλάνησης του περιπλανώμενου πωλητή, τον οποίο καλούμε τον ελάχιστο χρόνο του κύκλου και τον συμβολίζουμε με $T_{\min}(C)$. Υπάρχει επίσης ένα μέγιστο κατώφλι όσον αφορά τον χρόνο κύκλου, $T_{\max}(C)$, που προκύπτει από την περιορισμένη χωρητικότητα του οχήματος. Όταν ο χρόνος κύκλου $T(C)$ ισοδυναμεί με t^* , το όχημα πρέπει να παραδώσει $q_i = d_i \cdot t^*$ μονάδες σε κάθε σημείο i πώλησης. Το φορτίο του οχήματος $\sum_{i \in C} q_i$ μπορεί να έχει μέγιστη τιμή τη χωρητικότητα

k του οχήματος, έτσι ώστε η μέγιστη χρονική διάρκεια του κύκλου είναι ίση με τη χωρητικότητα του οχήματος διαιρεμένη με το συνολικό ποσοστό ζήτησης της συνολικής διαδρομής:

$$T_{\max}(C) = k / \sum_{i \in C} d_i .$$

Για να είναι εφικτή μια διαδρομή απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο ελάχιστος χρόνος κύκλου να είναι μικρότερος από τον μέγιστο χρόνο κύκλου:

$$T_{\min}(C) \leq T_{\max}(C) .$$

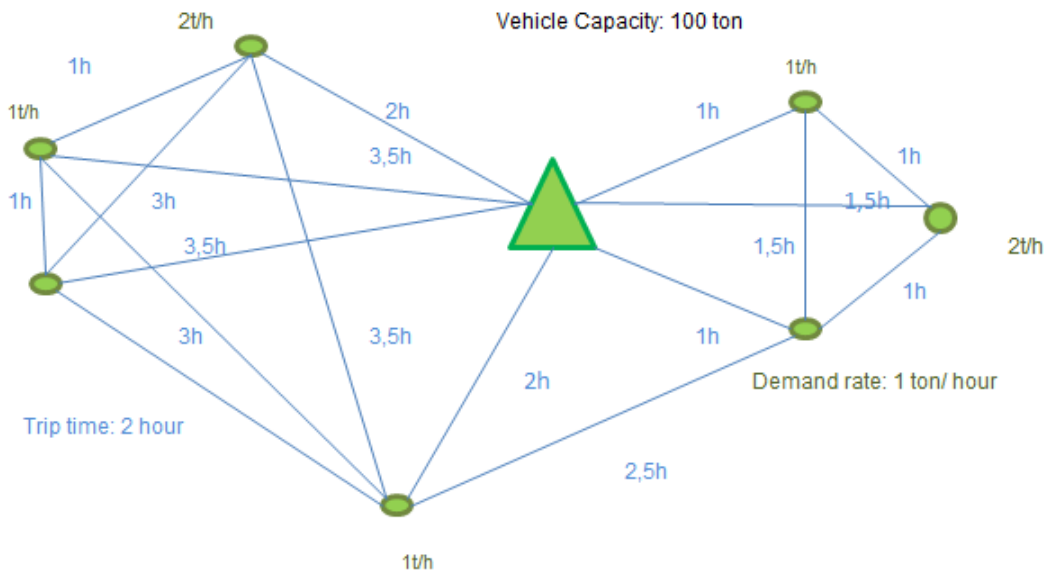
Υποθέτουμε τώρα ότι το όχημα ανεφοδιάζει τους πελάτες πραγματοποιώντας πολλαπλές διαδρομές ασυνεχών υποσυνόλων $C_1, C_2, \dots, C_m$ του συνόλου C . Ο ελάχιστος συνολικός χρόνος κύκλου για τις πολλαπλές αυτές διαδρομές είναι το άθροισμα των ελάχιστων χρόνων κύκλου της κάθε διαφορετικής διαδρομής, δηλαδή

$$T_{\min}(C) = \sum_{i=1 \dots m} T_{\min}(C_i) .$$

Ο μέγιστος συνολικός χρόνος κύκλου των πολλαπλών διαδρομών είναι το ελάχιστο των μέγιστων χρόνων κύκλου των διαφορετικών διαδρομών

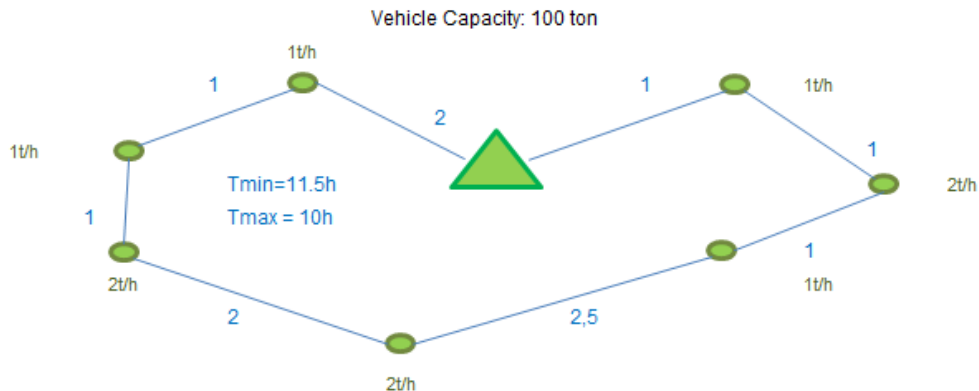
$$T_{\max}(C) = \min_{i=1 \dots m} \{T_{\max}(C_i)\}.$$

Το ακόλουθο απλό παράδειγμα (Σχήμα 2.4) δείχνει πως είναι δυνατόν να επιτευχθούν οικονομικότερες λύσεις ακολουθώντας τη μέθοδο πολλαπλών διαδρομών και όχι αυτή της μίας και μοναδικής διαδρομής. Υπάρχουν 7 σημεία/ πελάτες τα οποία είναι διασκορπισμένα γύρω από το κέντρο διανομής και έχουν ποσοστά ζήτησης είτε ενός είτε δύο τόνων ανά ώρα, ολικού ύψους 10 τόνων ανά ώρα. Υποθέτουμε επίσης έναν στόλο από ένα μόνο όχημα, χωρητικότητας 100 τόνων.



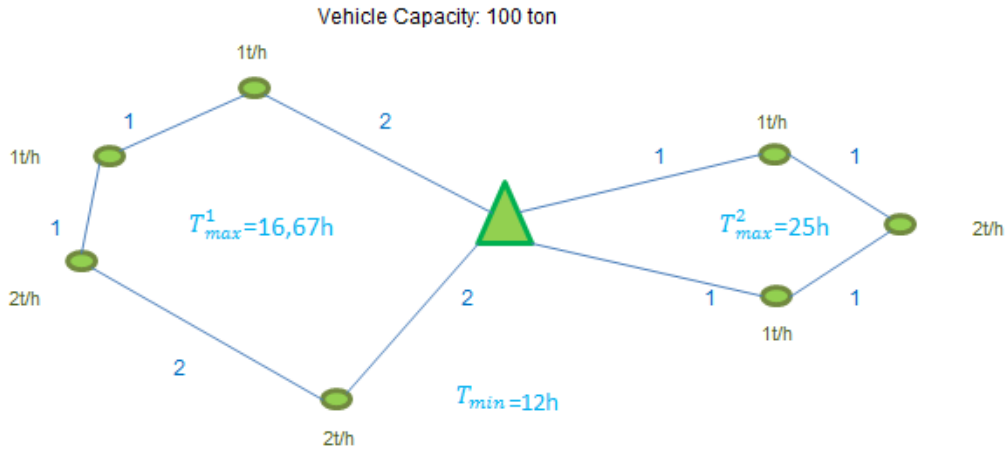
(Σχήμα 2.4)

Με τη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα μέσω των επτά σημείων πώλησης προκύπτει μια αδύνατη λύση (Σχήμα 2.5). Ο ελάχιστος χρόνος κύκλου είναι 11,5 ώρες, ενώ η μέγιστη χρονική διάρκεια του κύκλου είναι μικρότερη, μόλις $100 / 10 = 10$ ώρες. Για να μπορεί να προκύψει με τη μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα μια εφικτή λύση θα πρέπει η χωρητικότητα του οχήματος να είναι τουλάχιστον 115 τόνοι ($10 \text{ τόνοι} / \text{ώρα} \times 11,5 \text{ ώρες} = 115 \text{ τόνοι}$).



(Σχήμα 2.5)

Εάν προτιμήσουμε το διαθέσιμο όχημα να πραγματοποιήσει πολλαπλές διαδρομές τότε προκύπτει μια εφικτή λύση. Η λύση αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6, όπου εκτελούνται δύο διαδρομές, όπου η αριστερή διαδρομή έχει ελάχιστο και μέγιστο χρόνο κύκλου $T_{min}^1 = 8$ ώρες και $T_{max}^1 = 100/6=16.67$ ώρες και η δεξιά διαδρομή έχει αντίστοιχα ελάχιστο και μέγιστο χρόνο κύκλου $T_{min}^2 = 4$ ώρες και $T_{max}^2 = 100/4=25$ ώρες.



(Σχήμα 2.6)

Τέλος, ο συνολικός ελάχιστος χρόνος κύκλου των πολλαπλών διαδρομών είναι 12 ώρες ($4 + 8 = 12$ ώρες), ενώ ο μέγιστος χρόνος κύκλου είναι 16.67 ώρες ($\min(16.67, 25)$). Προκύπτει λοιπόν ότι η λύση των πολλαπλών διαδρομών είναι εφικτή και ότι είναι αναγκαίο ένα μόνο όχημα. Συγκριτικά με τη λύση της μεθόδου του πλησιέστερου γείτονα, παρατηρείται ότι χρόνος περιπλάνησης του οχήματος αυξήθηκε λίγο (από 11.5 σε 12 ώρες), αλλά ο μέγιστος χρόνος κύκλου αυξήθηκε σημαντικά (από 10 σε 16.67 ώρες), λόγω του γεγονότος ότι το όχημα χρησιμοποιεί τη χωρητικότητας 100 τόνων που διαθέτει δύο φορές για τον ανεφοδιασμό των 7 σημείων.

Για να οριστεί η αντικειμενική συνάρτηση, που είναι προς ελαχιστοποίηση στο μοντέλο μας, θεωρούμε τέσσερις κατηγορίες κόστους για κάθε διαδρομή:

- Η πρώτη συνιστώσα του κόστους είναι το σταθερό κόστος λειτουργίας των οχημάτων το οποίο δίνεται από ψ ευρώ ανά ώρα.
- Η δεύτερη συνιστώσα του κόστους είναι το κόστος μεταφοράς που δίνεται από το $\delta \cdot v \cdot T_{min}(C)$ ευρώ ανά επανάληψη των πολλαπλών διαδρομών, όπου το όχημα ταξιδεύει $T_{min}(C)$ ώρες ανά κύκλο, με ταχύτητα v χιλιομέτρων ανά ώρα, και όπου δ είναι το κόστος ταξιδιού ανά χιλιόμετρο. Το ποσοστό του κόστους μεταφοράς είναι ως εκ τούτου $\frac{\delta \cdot v \cdot T_{min}(C)}{T(C)}$ ευρώ ανά ώρα.
- Η τρίτη συνιστώσα του κόστους είναι το κόστος παράδοσης στα σημεία πώλησης, το οποίο είναι $\sum_{i \in \mathcal{C}} \phi_i$ ευρώ ανά κύκλο, όπου ϕ_i είναι το κόστος ανά παράδοση σε κάθε

σημείο/ πελάτη i . Το ποσοστό του κόστους μεταφοράς είναι κατά συνέπεια $\frac{\sum_{i \in C} \varphi_i}{T(C)}$

ανά ώρα.

- Τέλος, το τελευταίο στοιχείο του κόστους είναι το κόστος διατήρησης του αποθέματος στα σημεία πώλησης. Η ποσότητα που παραδίδεται σε κάθε σημείο πώλησης i είναι αρκετή ώστε να καλύψει τη ζήτηση μέχρι την επόμενη παράδοση ($q_i = d_i \cdot T(C)$ μονάδες), και το μέσο επίπεδο των αποθεμάτων κατά τη διάρκεια των $T(C)$ ωρών ενός κύκλου είναι $q_i / 2$ μονάδες. Έτσι, το κόστος διατήρησης του αποθέματος ανά κύκλο σε κάθε σημείο πώλησης i προκύπτει $n_i \cdot q_i \cdot T(C) / 2 = n_i \cdot q_i \cdot T(C)^2 / 2$ ευρώ, όπου n_i είναι το κόστος διατήρησης ανά τόνο ανά ώρα στο σημείο πώλησης i . Το συνολικό κόστος διατήρησης των αποθεμάτων είναι $T(C)^2 \cdot \sum_{i \in C} (n_i d_i / 2)$ ευρώ ανά κύκλο και το ποσοστό του συνολικού κόστους είναι $T(C) \cdot \sum_{i \in C} (n_i d_i / 2)$ ανά ώρα.

Προκύπτει λοιπόν ότι το συνολικό κόστος είναι:

$$C(C) = \psi + \frac{\delta v T_{\min}(C) + \sum_{i \in C} \varphi_i}{T(C)} + T(C) \cdot \sum_{i \in C} \left(\frac{n_i d_i}{2} \right).$$

Προφανώς, το ποσοστό του κόστους των πολλαπλών διαδρομών μεταβάλλεται με το χρόνο κύκλου του. Θεωρητικά υπάρχει ένας βέλτιστος χρόνος κύκλου για τον οποίο ποσοστό του κόστους είναι ελάχιστο. Αυτό συμβαίνει όταν το κόστος διατήρησης αποθέματος στα σημεία πώλησης (το οποίο αυξάνεται όταν αυξάνεται ο χρόνος κύκλου) είναι σε ισορροπία με το άθροισμα του κόστους παράδοσης στα σημεία πώλησης και του κόστους μεταφοράς (που μειώνεται όταν αυξάνεται ο χρόνος κύκλου). Αυτό είναι μια επέκταση του μοντέλου ΕΟQ (economic order quantity) και κατ' επέκταση ονομάζεται βέλτιστος θεωρητικός χρόνος κύκλου ΕΟQ:

$$T_{EOQ}(C) = \sqrt{\frac{\delta v T_{\min}(C) + \sum_{i \in C} \varphi_i}{\sum_{i \in C} n_i d_i / 2}}.$$

Ο βέλτιστος αυτός θεωρητικός χρόνος κύκλου αποδεικνύεται ότι είναι μεγαλύτερος από τον μέγιστο χρόνο κύκλου (ή μικρότερος από τον ελάχιστο χρόνο κύκλου), που σημαίνει ότι ο θεωρητικός αυτός χρόνος κύκλου δεν είναι στην πραγματικότητα εφικτός.

Σε αυτήν την περίπτωση, ο πραγματικός βέλτιστος χρόνος κύκλου $T^*(C)$ πρέπει να επιλεγεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στον βέλτιστο θεωρητικό $T_{EOQ}(C)$, έτσι ώστε να είναι ακριβώς ο μέγιστος (ή ελάχιστος) χρόνος κύκλου. Όταν ο θεωρητικός βέλτιστος χρόνος κύκλου $T_{EOQ}(C)$ βρίσκεται μεταξύ του ελάχιστου και μέγιστου χρόνου κύκλου επιλέγεται ως ο πραγματικός χρόνος κύκλου της μεθόδου των πολλαπλών διαδρομών. [8]

2.3.4 Η μεικτή διατύπωση ακέραιων αριθμών του προβλήματος

Όταν τα ποσοστά ζήτησης είναι σταθερά το IRP προσεγγίζεται ως πρόβλημα μακροπρόθεσμου προγραμματισμού, στο οποίο ο ίδιος βέλτιστος κύκλος επαναλαμβάνεται για μια μεγάλη χρονική περίοδο (συνήθως για ένα έτος). Η μεικτή διατύπωση ακέραιων αριθμών μοντελοποιεί την περίπτωση αυτή, και η λύση είναι επαναλαμβανόμενες πολλαπλές διαδρομές για κάθε όχημα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι υποθέσεις που γίνονται ώστε να μοντελοποιηθεί το εκάστοτε πρόβλημα με τον τρόπο αυτό:

- Ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτωση και την εκφόρτωση ενός οχήματος είναι σχετικά μικρός σε σύγκριση με τους χρόνους των διαδρομών, και ως εκ τούτου θεωρείται αμελητέος στο μοντέλο μας.
- Η χωρητικότητα για τα αποθέματα στα σημεία πώλησης θεωρείται ότι είναι αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε οι αντίστοιχοι περιορισμοί χωρητικότητας να μπορούν να παραληφθούν από το μοντέλο.
- Τα έξοδα μεταφοράς θεωρούνται ότι είναι ανάλογα των χρόνων διαδρομής, με την παράμετρο δ να υποδεικνύει το κόστος ανά χιλιόμετρο και η παράμετρος ν υποδηλώνει την ταχύτητα (σε χιλιόμετρα/ώρα).

Ο χρόνος που διαρκεί η διαδρομή από ένα σημείο πώλησης $i \in S^+ = S \cup \{r\}$ ένα άλλο $j \in S^+$ συμβολίζεται με t_{ij} .

Οι μεταβλητές του μοντέλου είναι:

x_{ij}^v : Μια δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 εάν το σημείο πώλησης $j \in S^+$ ανεφοδιάζεται αμέσως μετά από το σημείο πώλησης $i \in S^+$ από το όχημα $v \in V$, αλλιώς παίρνει την τιμή 0.

y^v : Μια δυαδική μεταβλητή η οποία παίρνει την τιμή 1 εάν το όχημα $v \in V$ χρησιμοποιείται ή 0 εάν δεν χρησιμοποιείται.

z_{ij}^v : Το άθροισμα των ποσοστών ζήτησης (σε μονάδες ανά ώρα) των εναπομενόντων σημείων πώλησης μιας διαδρομής ενός οχήματος όταν πηγαίνει από ένα σημείο πώλησης $j \in S^+$ αμέσως μετά από το σημείο $i \in S^+$. Η μεταβλητή αυτή παίρνει τη τιμή 0 όταν η διαδρομή (i, j) δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα από το όχημα $v \in V$.

T^v : Ο χρόνος κύκλου των πολλαπλών διαδρομών που πραγματοποιεί ένα όχημα $v \in V$ (σε ώρες). Θα πρέπει υποχρεωτικά να είναι θετικό ώστε να αποφευχθεί η διαίρεση με το μηδέν στην αντικειμενική συνάρτηση.

Η αρχική μη-γραμμική μεικτή διατύπωση των ακεραίων αριθμών του IRP:

IRP_{IP}: Ελαχιστοποίηση του:

$$Z = \sum_{v \in V} \left[\psi^v y^v + \frac{1}{T} \left(\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \delta v t_{ij} x_{ij}^v \right) + \sum_{i \in S} \left(\varphi_i \frac{1}{T^v} + \frac{1}{2} n_i d_i T^v \right) \left(\sum_{j \in S^+} x_{ij}^v \right) \right]$$

Υπό:

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in S^+} x_{ij}^v = 1 \quad (2.14)$$

$$\sum_{i \in S^+} x_{ij}^v - \sum_{k \in S^+} x_{jk}^v = 0 \text{ για κάθε } v \in V, j \in S^+, \quad (2.15)$$

$$\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} t_{ij}^v x_{ij}^v - T^v \leq 0 \text{ για κάθε } v \in V, \quad (2.16)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in S^+} z_{ij}^v - \sum_{v \in V} \sum_{k \in S^+} z_{jk}^v = d_j \text{ για κάθε } j \in S, \quad (2.17)$$

$$x_{rj}^v - y^v \leq 0 \text{ για κάθε } v \in V, j \in S, \quad (2.18)$$

$$T^v z_{rj}^v \leq \kappa(v) \text{ για κάθε } v \in V, j \in S, \quad (2.19)$$

$$z_{ij}^v - \left(\sum_{k \in S} d_k \right) x_{ij}^v \leq 0 \text{ για κάθε } v \in V, j \in S^+, \quad (2.20)$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\}, z_{ij}^v \geq 0, y^v \in \{0,1\}, T^v \geq 0 \text{ για κάθε } v \in V, j \in S^+. \quad (2.21)$$

Ο πρώτος περιορισμός εγγυάται ότι το κάθε σημείο πώλησης εξυπηρετείται από ένα και μόνο ένα όχημα. Ο δεύτερος περιορισμός είναι ένας συνηθισμένος περιορισμός συντήρησης ροής, εξασφαλίζοντας ότι ένα όχημα στο οποίο ανατίθεται να εξυπηρετήσει ένα σημείο πώλησης θα εξυπηρετήσει το σημείο αυτό σε έναν από τους γύρους του και στη συνέχεια θα φύγει σε ένα επόμενο σημείο πώλησης. Ο τρίτος περιορισμός δείχνει ότι χρόνος κύκλου ενός οχήματος πρέπει να είναι μεγαλύτερος από τον συνολικό χρόνο που πρέπει να ταξιδεύει το όχημα. Περιλαμβάνει τη διάρκεια όλων των γύρων που εκτελεί το όχημα. Οι περιορισμοί 4 εγγυάται ότι τα συνολικά ποσοστά ζήτησης των σημείων πώλησης που απομένουν να ανεφοδιαστούν από ένα όχημα $v \in V$, το οποίο ανεφοδιάζει ένα σημείο $j \in S$ σε ένα γύρο, μειώνονται από το ποσοστό ζήτησης d_j όταν το όχημα ανεφοδιάζει αυτό το σημείο πώλησης. Αυτοί οι περιορισμοί αποκλείουν τους πιθανούς υπό-γύρους. Ο περιορισμός 5 δηλώνει ότι ένα όχημα μπορεί να αφήσει το κέντρο ανεφοδιασμού r για να πραγματοποιήσει μια πολλαπλή διαδρομή μόνο εάν αυτό χρησιμοποιείται. Ο έκτος περιορισμός, που είναι μη-γραμμικός, είναι περιορισμός που αφορά τη χωρητικότητα των οχημάτων, δηλώνοντας ότι ένα όχημα δεν μπορεί να μεταφέρει ποσότητα μεγαλύτερη της χωρητικότητας του σε κάθε έναν από τους γύρους που πραγματοποιεί. Τέλος, ο περιορισμός 7 δηλώνει ότι το z_{ij}^v δεν μπορεί να περιέχει τα συνολικά ποσοστά ζήτησης εάν το x_{ij}^v δεν ισούται με 1.

Η μεικτή διατύπωση ακέραιων αριθμών, που αναλύσαμε παραπάνω, μοντελοποιεί τις περιπτώσεις όπου τα ποσοστά ζήτησης είναι σταθερά. Όταν τα ποσοστά ζήτησης είναι εξαιρετικά ευμετάβλητα, το πρόβλημα είναι καλύτερα να μοντελοποιείται επιλέγοντας ένα σύνολο σημείων πώλησης που πρέπει να ανεφοδιάζονται σε κάθε περίοδο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η εξάντληση αποθεμάτων και το κόστος αποθήκευσης να ελαχιστοποιείται. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων όπου πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το κόστος μεταφοράς. [8]

2.3.5 Μοντέλα και προσεγγίσεις λύσεων του Προβλήματος Δρομολόγησης Αποθεμάτων

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων έχει προσεγγιστεί με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τις πολιτικές αποθεμάτων που χρησιμοποιούνται στα εκάστοτε σημεία πώλησης, με τους περιορισμούς όσον αφορά την εξυπηρέτηση των πελατών και τον χρονικό ορίζοντα που εξετάζεται το κάθε πρόβλημα.

Οι Federgruen και Zipkin (1984) είναι από τους πρώτους που εξέτασαν προβλήματα που αφορούν την διαχείριση αποθεμάτων και διαδρομών. Το πρόβλημα που είχαν εξετάσει ήταν μια περίπτωση εγκαταστάσεων περιορισμένων αποθεμάτων, που εξυπηρετεί ένα σύνολο

θέσεων με τυχαία περιοδικά ποσοστά ζήτησης. Ο στόχος του μοντέλου τους ήταν να διατεθούν τα διαθέσιμα στην αποθήκη εμπορευμάτων στα σημεία πώλησης με τέτοιο τρόπο ώστε ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος μεταφορών, διατήρησης αποθεμάτων και έλλειψης αγαθών στο τέλος της περιόδου. Οι Federgruen και Zipkin διαμόρφωσαν το πρόβλημα ως μη-γραμμικό μικτό πρόγραμμα ακέραιων αριθμών, και πρότειναν μια προσεγγιστική μέθοδο για τη λύση του. Η μέθοδος αυτή ξεκινάει με μια αρχική ανάθεση των σημείων πώλησης σε διαδρομές. Το πρόβλημα πλέον έγκειται σε ένα πρόβλημα κατανομής αποθεμάτων που καθορίζει τα κόστη αποθήκευσης και έλλειψης αποθεμάτων και σε ένα πρόβλημα περιπλανώμενου πωλητή, για κάθε όχημα, το οποίο συμπεριλαμβάνει και ένα κόστος μεταφοράς. Αυτή η εφικτή λύση βελτιώνεται με την ανταλλαγή των πελατών μεταξύ των διαφόρων διαθέσιμων διαδρομών.

Ο Golden το 1984 μελέτησε το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ένα τμήμα αποθεμάτων και είχε αναπτύξει μια ευρετική μέθοδο που όριζε δείκτες ανάγκης στα σημεία πώλησης. Σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, σημεία πώλησης επιλέγονται για να λάβουν μια παράδοση σύμφωνα με την υψηλότερη αναλογία του δείκτη ανάγκης και σημεία πώλησης με δείκτη ανάγκης μικρότερο από ένα ορισμένο κατώτατο όριο αποκλείονται. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ένας γύρος με τη μέθοδο του περιπλανώμενου πωλητή περιορισμένου συνολικού χρόνου ταξιδιού, και έπειτα χωρίζεται σε ένα σύνολο εφικτών διαδρομών με τον περιορισμό ότι κάθε σημείο πώλησης γεμίζει όταν λάβει μια παράδοση.

Ο Chien το (1989) θεώρησε το ίδιο πρόβλημα και το εξέφρασε ως ακέραιο πρόγραμμα το οποίο λύνεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο διπλής ανάβασης Lagrangian. Ο Dror το 1985 και οι Dror και Ball το 1987 εξέτασαν το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων με καθημερινή ζήτηση για μια βραχυπρόθεσμη περίοδο προγραμματισμού. Χρησιμοποίησαν τις πιθανότητες εξάντλησης αποθεμάτων των σημείων πώλησης, το μέσο κόστος παράδοσης και αναμενόμενου κόστος σε περίπτωση εξάντλησης των αποθεμάτων, ώστε να βρουν την καταλληλότερη ημέρα ανεφοδιασμού του κάθε σημείου πώλησης. Εάν η ημέρα αυτή εμπίπτει στο βραχυπρόθεσμο χρονικό προγραμματισμό τότε το συγκεκριμένο σημείο πώλησης επιλέγεται να ανεφοδιαστεί, και ταυτόχρονα υπολογίζεται μια τιμή για κάθε ημέρα της περιόδου προγραμματισμού ώστε να αντικατοπτρίζει την αναμενόμενη αύξηση των μελλοντικών δαπανών, εφόσον η παράδοση γίνει εκείνη την ημέρα, αντί της βέλτιστης ημέρας ανεφοδιασμού. Στη συνέχεια επιλύεται ένα ακέραιο πρόγραμμα ώστε να καθοριστεί μια βέλτιστη κατανομή των επιλεγμένων σημείων πώλησης στα οχήματα και τις ημέρες παράδοσης με το στόχο την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των δαπανών αυτών, επαυξημένων με τα έξοδα μεταφοράς.

Το 1988 ο Larson διακρίνει δύο προβλήματα αποθεμάτων/ δρομολόγησης, το στρατηγικό και το τακτικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Το στρατηγικό πρόβλημα εστιάζει στον υπολογισμό του ελάχιστου μεγέθους του στόλου των οχημάτων που απαιτείται για να εξυπηρετηθούν τα σημεία πώλησης. Το τακτικό πρόβλημα εξετάζει τη δρομολόγηση ενός δεδομένου στόλου οχημάτων για να ανεφοδιάζει τα σημεία πώλησης, των οποίων οι πραγματικές απαιτήσεις ανεφοδιασμού μπορούν να υπολογιστούν. Ο Larson μελέτησε τα χαρακτηριστικά του στρατηγικού προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων ως πρότυπο για ένα σχέδιο ενός νέου συστήματος μεταφοράς και διάθεσης της λάσπης για την πόλη της Νέας Υόρκης.

Το σύστημα αυτό ορίζει σημεία σε συγκεκριμένες συστοιχίες και υποθέτει ότι όλοι οι ανεφοδιασμοί γίνονται σε μια ενιαία διαδρομή επισκεπτόμενο όλα τα σημεία μιας συστοιχίας. Αυτή η μέθοδος είχε ως αποτέλεσμα ορισμένα σημεία να επισκέπτονται συχνότερα από ότι απαιτούνταν.

Παρακινούμενοι από αυτήν την ανεπάρκεια του συστήματος, οι Webb και Larson (1995) θεωρούν μια προσέγγιση περιόδου/φάσης για να λύσουν το στρατηγικό αυτό πρόβλημα.

Παρουσίασαν τις λύσεις μιας δρομολόγησης βασισμένης στην περίοδο και τη φάση ανεφοδιασμού κάθε σημείου, και ανέπτυξαν ένα απλό πρότυπο για τα τακτικά προβλήματα δρομολόγησης που ο στόλος θα αντιμετωπίσει τελικά. Οι εκτιμήσεις του μεγέθους στόλου που απαιτείται αναπτύσσονται βάσει αυτών των λύσεων δρομολόγησης. Η προσέγγιση περιόδου/φάσης μπορεί να γενικευτεί ώστε να λάβει υπόψη τις μακροπρόθεσμες λειτουργικές δαπάνες.

Οι Anily και Federgruen (1990, 1993) εξέτασαν το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με σταθερά τα ποσοστά ζήτησης σε έναν άπειρο ορίζοντα προγραμματισμού. Ο στόχος ήταν να καθοριστούν οι κανόνες αποθεματοποίησης και τα σχέδια δρομολόγησης που ελαχιστοποιούν τις μακροπρόθεσμες μέσες δαπάνες μεταφορών και αποθεματοποίησης. Τα σχέδια δρομολόγησης καθορίζονται χρησιμοποιώντας ένα σχέδιο χωρισμού των σημείων πώλησης. Τα σημεία πώλησης διαιρούνται σε περιοχές ώστε η ζήτηση κάθε περιοχής να είναι κατά προσέγγιση ίση με τη χωρητικότητα των οχημάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα σημείο πώλησης μπορεί να εμφανιστεί σε περισσότερες από μια περιοχές, αλλά ένα ορισμένο μέρος της ζήτησής του διατίθεται σε κάθε περιοχή. Όταν ένα σημείο πώλησης μιας περιοχής επισκέπτεται, τότε όλα τα σημεία πώλησης της περιοχής αυτής επισκέπτονται.

Χρησιμοποιώντας παρόμοιες ιδέες, οι Gallego και Simchi-Levi (1990) ανέλυσαν ένα σύστημα άμεσης παράδοσης, μιας αποθήκης και πολλών πελατών με σταθερά (ντετερμινιστικά) ποσοστά ζήτησης, στα οποία δεν επιτρέπονται ελλείψεις. Υπέθεσαν ότι διαθέτουν απεριόριστο αριθμό των οχημάτων, το καθένα με περιορισμένη χωρητικότητα και ότι η αποθηκευτική ικανότητα των σημείων πώλησης δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Μελέτησαν συνθήκες υπό τις οποίες η άμεση παράδοση είναι μια αποτελεσματική πολιτική, όταν η αντικειμενική συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση αποτελείται από το άθροισμα του κόστους μεταφοράς, του κόστους υπηρεσιών παράδοσης, και του γραμμικού έξοδα αποθεματοποίησης. Έδειξαν επίσης ότι η άμεση παράδοση δεν αποτελεί ορθή πολιτική, όταν υπάρχουν πολλοί πελάτες των οποίων η ζήτηση είναι πολύ μικρότερη από το φορτίου του οχήματος. Οι Bramel και Simchi-Levi (1995) εξέτασαν το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων κατά το οποίο μια κεντρική αποθήκη, με απεριόριστη χωρητικότητα εφοδιάζει ένα σύνολο σημείων πώλησης, το καθένα από τα οποία έχει σταθερή ζήτηση ανά μονάδα χρόνου. Ο στόχος είναι ο προγραμματισμός των αναχωρήσεων του οχήματος και ο προσδιορισμός των φορτίων που προορίζονται για κάθε σημείο πώλησης, ώστε το συνολικό κόστος ανά μονάδα χρόνου να είναι το ελάχιστο δυνατό. Το κόστος στη συγκεκριμένη περίπτωση περιλαμβάνει το κόστος μεταφοράς, το κόστος υπηρεσιών παράδοσης, και γραμμικό κόστος διατήρησης των αποθεμάτων στα σημεία πώλησης. Για να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό, το ανήγαγαν σε συγκεντρωτικό πρόβλημα τοποθεσίας και χωρητικότητας (CCLP - capacitated concentrator location problem), η οποία κατατμήσεις θέσεις σε ξένα σύνολα. Αυτά τα σύνολα γίνονται σταθερές χωρίσματα στο πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων. Αυτά τα τμήματα είναι με τη σειρά τους εξυπηρετούνται παρόμοια όπως στην προσέγγιση περιοχών των Anily και Federgruen.

Όπως είδαμε παραπάνω η μοντελοποίηση ενός προβλήματος με τη μέθοδο των πολλαπλών διαδρομών χρησιμοποιείται για να αντικαταστήσει τις συνηθισμένες μεθόδους διαδρομών. Αυτό λοιπόν το πρότυπο μας οδηγεί στη δραστική μείωση του μεγέθους του στόλου των απαραίτητων οχημάτων καθώς και των δαπανών του. [8]

2.3.6 Προσέγγιση λύσεων

Για τη λύση του προβλήματος προτείνεται ένας προσεγγιστικός αλγόριθμος που είναι βασισμένος σε μια διαδικασία γέννησης στηλών. Η γέννηση πολλαπλών διαδρομών που χρησιμοποιείται στη μέθοδο αυτή είναι μια προέκταση του ευρετικού αλγόριθμου που χρησιμοποιείται για τη λύση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. [8]

2.3.6.1 Το μοντέλο γέννησης μητρώων

Ορίζουμε μια πολλαπλή διαδρομή v από έναν δυαδικό πίνακα $X^v = (x_{ij}^v)$, έναν πίνακα $Z^v = (z_{ij}^v)$ και μια παράμετρο T^v έτσι ώστε: $x_{ij}^v = 1$ αν η πολλαπλή διαδρομή v περιέχει μια διαδρομή όπου επισκεπτόμαστε το j αμέσως μετά το i . Η πολλαπλή αυτή διαδρομή είναι εφικτή αν οι περιορισμοί $\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} t_{ij} x_{ij}^v \leq T^v$ και $T^v z_{ij}^k \leq \kappa$ ικανοποιούνται για κάθε $j \in S$.

.Τέλος, το ποσοστό κόστους της πολλαπλής διαδρομής μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$Cost_v = \psi^v + \frac{1}{T} \left(\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \delta t_{ij} x_{ij}^v \right) + \sum_{i \in S} \left(\varphi_i \frac{1}{T^v} + \frac{1}{2} n_i d_i T^v \right) \left(\sum_{j \in S^+} x_{ij}^v \right).$$

Θέτουμε επίσης PV όλες τις πιθανές πολλαπλές διαδρομές (X^v, Z^v, T^v) που ικανοποιούν τους περιορισμούς (3) και (6) και με τον τρόπο αυτό το πρόβλημα IRP_{IP} μπορεί να μοντελοποιηθεί ως:

IRP_{MG} : Ελαχιστοποίηση του:

$$\sum_{v \in PV} Cost_v w_v$$

Υπό:

$$\sum_{v \in PV} \left(\sum_{i \in S^+} x_{ij}^v \right) w_v = 1 \quad \text{για κάθε } j \in S, \quad (2.22)$$

$$w_v \in \{0,1\} \quad \text{για κάθε } v \in PV$$

Το παραπάνω πρόβλημα (IRP_{MG}) επιδιώκει τον καλύτερο συνδυασμό πολλαπλών διαδρομών που καλύπτει όλα τα σημεία πώλησης, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος των πολλαπλών διαδρομών. Σαφώς, το πρότυπο αυτό μοιάζει με το αρχικό πρόβλημα στο οποίο έχουμε παραγωγή στηλών, εκτός φυσικά από το ότι στην περίπτωσή μας εξετάζουμε μήτρες και όχι στήλες. Όπως συμβαίνει σε πολλές διαδικασίες παραγωγής στηλών, η επίλυση του προβλήματος με όλες τις στήλες είναι σχεδόν αδύνατη. Κατά συνέπεια, πρέπει να καθοριστεί ένας τρόπος ώστε οι στήλες που παράγονται να είναι οι καταλληλότερες ώστε το πρόβλημα μπορεί να πλησιάσει τη βέλτιστη λύση όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Τα ακόλουθα βήματα συνοψίζουν τη διαδικασία παραγωγής μητρώων που χρησιμοποιείται:

1. Αρχικά δημιουργείται μια λίστα όλων των πολλαπλών διαδρομών (PV), με $|S|$ τις "βασικές" πολλαπλές διαδρομές που είναι αυτές οι οποίες επισκέπτονται ένα μόνο σημείο πώλησης.
2. Επιλύεται το γραμμικό πρόγραμμα χαλάρωσης LP του προβλήματος IRP_{MG} .
3. Από τη λύση που προκύπτει παίρνουμε διπλές τιμές λ_j για κάθε $j \in S$, οι οποίες σχετίζονται με τους περιορισμούς (8).

4. Γίνεται μια προσπάθεια για την εύρεση μιας νέας πολλαπλής διαδρομής με μειωμένο κόστος RC. Αν βρεθεί μια τέτοια νέα διαδρομή τότε προστίθεται στη λίστα διαδρομών PV και η διαδικασία επιστρέφει στο δεύτερο βήμα. Αν δεν προκύψει μια τέτοια νέα διαδρομή τότε η βέλτιστη λύση LP έχει βρεθεί και η διαδικασία συνεχίζει στο επόμενο βήμα (5).
5. Τέλος, το πρόβλημα IRP_{MG} επιλύεται ώστε να βρεθεί η τελική λύση.

Για να καθοριστεί η εφικτή πολλαπλή διαδρομή με το μέγιστο μειωμένο κόστος του τέταρτου βήματος πρέπει να επιλυθεί το παρακάτω γραμμικό πρόβλημα, το οποίο ονομάζεται υπό-πρόβλημα γέννησης πολλαπλών διαδρομών του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP_{SBP}).

IRP_{SBP} : Ελαχιστοποίηση του:

$$RC = \psi + \sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \left(\left(\delta t_{ij} + \varphi_i \right) \frac{1}{T} + \frac{1}{2} n_i d_i T \right) x_{ij} - \sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} \lambda_j x_{ij}$$

Υπό:

$$\sum_{i \in S^+} x_{ij} \leq 1 \quad \text{για κάθε } j \in S, \quad (2.23)$$

$$\sum_{i \in S^+} x_{ij} - \sum_{k \in S^+} x_{jk} = 0 \quad \text{για κάθε } j \in S^+, \quad (2.24)$$

$$\sum_{i \in S^+} \sum_{j \in S^+} t_{ij} x_{ij} - T \leq 0, \quad (2.25)$$

$$\sum_{i \in S^+} z_{ij} - \sum_{k \in S^+} z_{jk} = \sum_{i \in S^+} d_j x_{ij} \quad \text{για κάθε } j \in S, \quad (2.26)$$

$$z_{rj} \leq \frac{1}{T} \kappa \quad \text{για κάθε } j \in S, \quad (2.27)$$

$$z_{ij} - \left(\sum_{k \in S} d_k \right) x_{ij} \leq 0 \quad \text{για κάθε } i, j \in S^+, \quad (2.28)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, z_{ij} \geq 0, T \geq 0 \quad \text{για κάθε } i, j \in S^+. \quad (2.29)$$

Το παραπάνω πρόβλημα (IRP_{SBP}) είναι ένα μη-γραμμικό μεικτό πρόβλημα ακεραίων εξαρτώμενο από τη μεταβλητή T , το οποίο καθορίζει τον χρόνο κύκλου της πολλαπλής διαδρομής που αναζητείται. Παρόλα αυτά, για μια δεδομένη τιμή του T , το μη-γραμμικό πρόβλημα IRP_{SBP} ανάγεται σε γραμμικό πρόβλημα $IRP_{SBP}(T)$ και μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες μεθόδους λύσεων γραμμικών μεικτών προβλημάτων ακεραίων. [8]

2.3.6.2 Ευρετική μέθοδος γέννησης πολλαπλών διαδρομών

Για τη λύση του προβλήματος IRP_{SBP} έχει αναπτυχθεί ένας ευρετικός αλγόριθμος στον οποίο επιλύονται υπό-προβλήματα, ο οποίος είναι βασισμένος σε μια μέθοδο προσέγγισης του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων που αναπτύχθηκε από τον Aghezzaf το 2001 και σε μια μέθοδο προσέγγισης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων που ανέπτυξαν οι Clarke

και Wright το 1964. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος:

1. Αρχικοποίηση:

Δημιουργείται μια προσωρινή λίστα πολλαπλών διαδρομών με τις βασικές πολλαπλές διαδρομές (αυτές που επισκέπτονται ένα μόνο σημείο πώλησης).

2. Βήμα αποθήκευσης:

Ο πυρήνας του ευρετικού αλγόριθμου γέννησης πολλαπλών διαδρομών είναι μια διαδικασία συνδυασμού δύο πολλαπλών διαδρομών u_1 και u_2 σε μια πολλαπλή διαδρομή. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται όπως παρουσιάζεται στα παρακάτω βήματα:

- Υποθέτουμε ότι η πολλαπλή διαδρομή u_1 πραγματοποιεί n διαδρομές, ενώ η πολλαπλή διαδρομή u_2 πραγματοποιεί m διαδρομές. Οι n διαδρομές μαζί με τις m διαδρομές τοποθετούνται μαζί σε μια λίστα διαδρομών $C_1, C_2, \dots, C_{n+m}$. Στη συνέχεια δημιουργείται μια πολλαπλή διαδρομή u^* η οποία πραγματοποιεί τις διαδρομές $C_1, C_2, \dots, C_{n+m}$ και υπολογίζεται το μειωμένο κόστος που προκύπτει (εάν η διαδρομή είναι ανέφικτη απορρίπτεται).
- Για κάθε $1 \leq i \leq j \leq n+m$ συνδυάζονται οι διαδρομές C_i και C_j σε μια νέα διαδρομή C^+ (λύνοντας το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων για όλα τα σημεία πώλησης και των δύο διαδρομών συμπεριλαμβανομένου του σημείου διανομής) και παράγεται μια πολλαπλή διαδρομή που εκτελεί τις διαδρομές $C_1, \dots, C_{i-1}, C_{i+1}, \dots, C_{j-1}, C_{j+1}, \dots, C_{n+m}$ και C^+ . Αν λοιπόν το μειωμένο κόστος της πολλαπλής αυτής διαδρομής είναι μικρότερο του κόστους της u^* , αντικαθιστούμε τη διαδρομή u^* με αυτή την πολλαπλή διαδρομή.
- Όταν υπολογιστούν όλες οι πολλαπλές διαδρομές που προκύπτουν από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, η διαδρομή u^* είναι αυτή με το μέγιστο μειωμένο κόστος. Αν το μέγιστο μειωμένο κόστος είναι μικρότερο από το άθροισμα των μειωμένων κοστών u_1 και u_2 τότε έχει επιτευχθεί μια μείωση κόστους η οποία είναι:

$$S = RC^{u_1} + RC^{u_2} - RC^{u^*}.$$

Όλοι οι συνδυασμοί των δύο πολλαπλών διαδρομών από την προσωρινή λίστα υπολογίζονται και ο καλύτερος εφικτός συνδυασμός προστίθεται στην προσωρινή λίστα και οι δύο αρχικές προς συνδυασμό διαδρομές αφαιρούνται από τη λίστα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου να μην προκύπτει μια εφικτή πολλαπλή διαδρομή περαιτέρω μειωμένου κόστους.

3. Τελικό βήμα:

Η βέλτιστη πολλαπλή διαδρομή στην προσωρινή λίστα (δηλαδή αυτή με το μέγιστο μειωμένο κόστος) προστίθεται στη λίστα πολλαπλών διαδρομών PV και συμπεριλαμβάνεται στη γέννηση στηλών του προβλήματος IRP_{MG}. [8]

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή αλγορίθμων επίλυσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε διάφορες ευρετικές και μεθευρετικές μεθόδους βάση των οποίων είναι δυνατή η επίλυση όλων των περιπτώσεων δρομολόγησης οχημάτων, και όχι μόνο. Οι παρακάτω μέθοδοι έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές που ασχολούνται με το αντικείμενο της δρομολόγησης οχημάτων, και μερικές από αυτές αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια βάση προηγούμενων αποτελώντας βελτίωσή τους.

3.1 Ευρετικές μέθοδοι

Η επίλυση ενός προβλήματος συνδυαστικής βελτιστοποίησης γίνεται ολοένα και δυσκολότερη όσο αυξάνει το μέγεθος του προβλήματος και πολλές φορές το να προσπαθούμε να βρούμε την ολικά βέλτιστη λύση σε λογικό χρόνο είναι πρακτικά αδύνατο. Για να επιλύσουμε προβλήματα αυτής της μορφής συχνά καταφεύγουμε σε διαφορετικές τεχνικές που μας οδηγούν σε μία σχεδόν βέλτιστη, αλλά ικανοποιητική λύση. Μια λύση ενός ευρετικού αλγόριθμου γίνεται αποδεκτή αν ικανοποιεί κάποια κριτήρια όπως η ποιότητα της λύσης, δηλαδή η απόκλιση της από τη βέλτιστη, η ευκολία απόκτησης μιας λύσης, η λογική πάνω στην οποία στηρίζονται οι κανόνες του ευρετικού αλγόριθμου που χρησιμοποιήθηκαν για να οδηγηθούμε στην λύση.

Για κάποιο πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης δεν υπάρχει μονάχα ένας ευρετικός αλγόριθμος που να δίνει τη βέλτιστη λύση, αλλά έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι οι οποίοι συγκρινόμενοι μεταξύ τους μας οδηγούν ολοένα και σε καλύτερες λύσεις.

Οι κατηγορίες των αλγορίθμων αυτών είναι οι ακόλουθες :

- Αλγόριθμοι απληστίας (greedy algorithms)
- Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι (approximation algorithms)
- Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης (local search algorithms)

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι οι αλγόριθμοι απληστίας προσπαθούν να οδηγήσουν σε μία εφικτή λύση του προβλήματος, αλλά πολλές φορές χρειάζονται πάρα πολύ μεγάλο χρόνο γιατί είναι μυωπικοί αλγόριθμοι, δηλαδή βλέπουν μόνο μπροστά. Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να λύσουν αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιώντας επιπλέον πληροφορία. Τέλος οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης προσπαθούν από μια αρχική εφικτή λύση να βελτιώσουν τη λύση με κάποια μέθοδο αναζήτησης στην γειτονιά της λύσης.

Παρακάτω θα δούμε παραδείγματα για κάθε ένα από τους ευρετικούς αλγορίθμους. [3]

3.1.1 Αλγόριθμοι απληστίας

3.1.1.1 Πλανόδιος πωλητής- Διαδικασία εισαγωγής κόμβων

Σε αυτές τις διαδικασίες παίρνουμε ένα στοιχειώδη κύκλο και προσπαθούμε να βρούμε ποιος κόμβος που δεν είναι αυτή τη στιγμή στον κύκλο, μπορεί να μπει αμέσως μετά τη διαδρομή και μετά καθορίζουμε σε ποιο σημείο του κύκλου μπαίνει. Υπάρχουν πάρα πολλά κριτήρια που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την επιλογή των επόμενων κόμβων και για αυτό το λόγο μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές διαδικασίες.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τη διαδικασία πλησιέστερης εισαγωγής (Nearest Insertion) :

Βήμα 1: Ξεκινάμε με ένα υπογράφημα που περιλαμβάνει μονάχα τον κόμβο i.

Βήμα 2: Βρίσκουμε τον κόμβο k του οποίου το κόστος c_{ik} είναι ελάχιστο και δημιουργούμε τη διαδρομή i-k-i.

Βήμα 3: Βήμα επιλογής. Δοθέντος μιας διαδρομής, βρίσκουμε ένα κόμβο k που δεν είναι στην διαδρομή και είναι πλησιέστερα σε οποιοδήποτε κόμβο της διαδρομής.

Βήμα 4: Βρίσκουμε το τόξο (i,j) στην διαδρομή που ελαχιστοποιεί το $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$. Εισάγουμε το k ανάμεσα στα i και j.

Βήμα 5: Επιστρέφουμε στο 3, εκτός αν έχουμε κύκλο Χάμιλτον, δηλαδή έχουμε περάσει από όλους τους κόμβους ακριβώς μία φορά και έχουμε επιστρέψει στον αρχικό.

Η συμπεριφορά του αλγορίθμου στην χειρότερη περίπτωση είναι η ακόλουθη:

$$\frac{\text{μήκος διαδρομής διαδικασίας}}{\text{μήκος βέλτιστης διαδρομής}} \leq 2$$

Ο αλγόριθμος αυτός απαιτεί υπολογισμούς της τάξης n^2 . [3]

3.1.2 Προσεγγιστικοί αλγόριθμοι

3.1.2.1 Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων- Ο αλγόριθμος των εξοικονομήσεων των Clarke & Wright (The savings algorithm)

Ο πρώτος κατασκευαστικός αλγόριθμος που έχει προταθεί για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων είναι ο αλγόριθμος των Clarke & Wright. Σε αυτή τη μέθοδο αρχικά υπολογίζονται οι εξοικονομήσεις όλων των πελατών και στη συνέχεια δημιουργούνται διαδρομές βάση των καλύτερων εξοικονομήσεων. Η διαδικασία έχει δύο εκδοχές, την παράλληλη και την ακολουθητική. Η διαδικασία έχει την παρακάτω μορφή:

Βήμα 1: Υπολογίζουμε τις εξοικονομήσεις για όλα τα ζεύγη των πελατών i και j

$$s_{ij} = c_{ii} - c_{ij} + c_{ji} .$$

Βήμα 2: Κατατάσσουμε τις εξοικονομήσεις σε φθίνουσα σειρά.

Βήμα 3: Ξεκινάμε από την κορυφή της λίστας και κάνουμε τα εξής βήματα:

Παράλληλη εκδοχή

Βήμα 4: Αν μετά τη δημιουργία ενός δεσμού, δημιουργείται μια εφικτή διαδρομή, ικανοποιώντας τους περιορισμούς του VRP, δεχόμαστε τον δεσμό στην λύση, αλλιώς τον απορρίπτουμε.

Βήμα 5: Εξετάζουμε τον επόμενο δεσμό στη λίστα και επαναλαμβάνουμε το βήμα 4 έως ότου να μην μπορεί να επιλεγεί άλλος δεσμός.

Ακολουθητική εκδοχή

Βήμα 4: Βρίσκουμε τον πρώτο εφικτό δεσμό στην λίστα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προεκτείνει ένα από τα δύο άκρα της τρέχουσας διαδρομής.

Βήμα 5: εάν η διαδρομή δεν μπορεί να επεκταθεί επιπλέον, ολοκληρώνουμε τη διαδρομή. Επιλέγουμε τον πρώτο εφικτό δεσμό στην λίστα για να ξεκινήσουμε μια καινούργια διαδρομή.

Βήμα 6: Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 4 και 5 μέχρι κανένας δεσμός να μην μπορεί να επιλεγεί.
[3]

3.1.3 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης

3.1.3.1 Η μέθοδος 2-opt

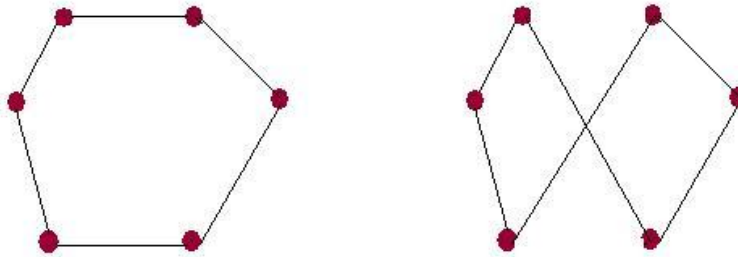
Η μέθοδος αυτή αποτελείται γενικά από τη διαγραφή 2 ακμών και την επανασύνδεση δύο μονοπατιών με διαφορετικό τρόπο για να καθορίσουμε μια καινούργια διαδρομή. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μόνο ένας τρόπος για να επανασυνδέσουμε τα μονοπάτια. Η διαδικασία της μεθόδου είναι η ακόλουθη:

Βήμα 1: Έστω T η τρέχουσα διαδρομή.

Βήμα 2: Για κάθε κόμβο $i = 1, \dots, n$: Εξετάζουμε όλες τις πιθανές 2-opt κινήσεις που μπορεί να γίνουν από την i και την επόμενη της μέσα στην διαδρομή. Αν με αυτό τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε το κόστος της διαδρομής, τότε επιλέγουμε την καλύτερη 2-opt κίνηση και εφαρμόζουμε τις αλλαγές στην διαδρομή T .

Βήμα 3: Αν δεν μπορούμε να βρούμε επιπλέον βελτίωση, σταματάμε.

Στην χειρότερη περίπτωση, μπορεί μονάχα να εγυνηθεί ότι μια κίνηση βελτίωσης μειώνει το μήκος της διαδρομής τουλάχιστον μία μονάδα.



Σχήμα 3.1: Εφαρμογή του αλγορίθμου 2-opt [3]

3.1.3.2 Η μέθοδος 3-opt

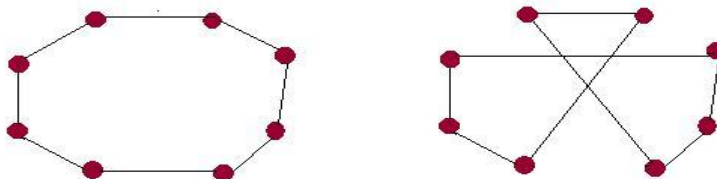
Η βελτίωση που επιφέρει στο μήκος της διαδρομής ο προηγούμενος αλγόριθμος είναι προφανής. Αν θέλουμε να είμαστε πιο ευέλικτοι θα μπορούσαμε να σπάσουμε τον αλγόριθμο σε τρία μέρη αντί για δύο και να συνδυάσουμε τα μονοπάτια με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η διαδικασία της μεθόδου είναι η ακόλουθη:

Βήμα 1: Έστω T η τρέχουσα διαδρομή.

Βήμα 2: Για κάθε κόμβο $i \in V$ υπολογίζουμε ένα σύνολο από κόμβους $N(i)$.

Βήμα 3: Για κάθε κόμβο $i=1, \dots, n$: Εξετάζουμε όλες τις πιθανές 3-opt κινήσεις που μπορεί να γίνουν και οι οποίες διαγράφουν από τις τρεις πλευρές έχοντας η κάθε μια από αυτές μια πλευρά στην $N(i)$. Αν με αυτό τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε το κόστος της διαδρομής τότε επιλέγουμε την καλύτερη 3-opt κίνηση και εφαρμόζουμε τις αλλαγές στην διαδρομή T .

Βήμα 4: Αν δεν μπορούμε να βρούμε επιπλέον βελτίωση, σταματάμε.



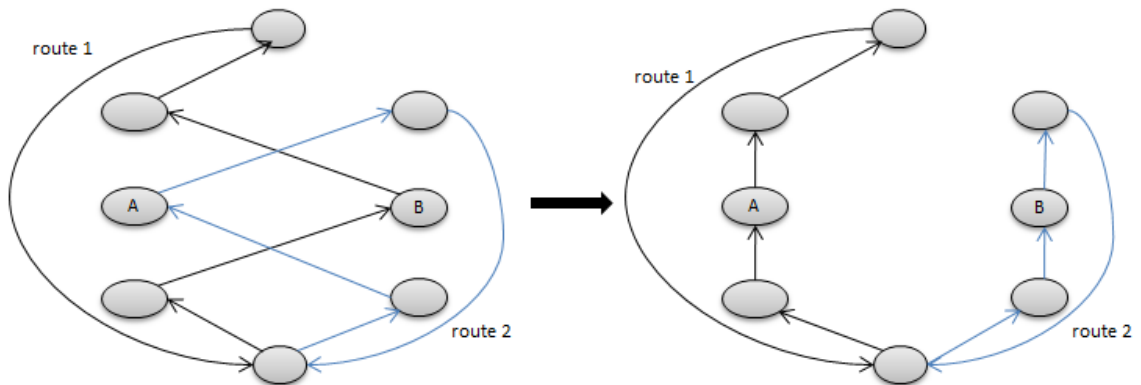
Σχήμα 3.2: Εφαρμογή του αλγορίθμου 3-opt [3]

3.1.3.3 Η μέθοδος 2-opt exchange

Η μέθοδος 2-opt exchange είναι μια μέθοδος για δύο ομάδες πελατών σε διαφορετικές διαδρομές, με συνέπεια τη χαμηλότερη απόσταση σε μίλια ή το χαμηλότερο κόστος ή το λιγότερο χρόνο σε κάθε διαδρομή, ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος.

Η διαδικασία εναλλαγής πελατών μεταξύ των διαφορετικών δρομολογίων θα επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχουν άλλες ανταλλαγές που να προκαλούν μείωση στην απόσταση σε μίλια, κόστος ή χρόνο. Αυτό θα οδηγήσει σε ένα νέο σύνολο συστάδων.

Παρακάτω βλέπουμε τη σχηματική απεικόνιση της 2-opt exchange και την αλλαγή του σταθμού A της διαδρομής 1 με τον σταθμό B της διαδρομής 2 και στη συνέχεια τα νέα δρομολόγια που προκύπτουν.



Σχήμα 3.3: Εφαρμογή της 2-opt exchange [9]

3.1.3.4 Or-βέλτιστο

Η διαδικασία του Or-βέλτιστου, γνωστή ως ευρετικός ανταλλαγής κόμβων, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Or. Απαλείφει μια ακολουθία από μέχρι τρεις γειτονικούς κόμβους και τους εισάγει σε μια άλλη θέση μέσα στην ίδια διαδρομή.

Ο Or-βέλτιστο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδική περίπτωση του 3-opt (αντικατάσταση τριών τόξων) όπου τρία τόξα αφαιρούνται και αντικαθίστανται από άλλες τρία τόξα. Όταν διαγράφεται μια αλυσίδα από συνεχόμενους κόμβους στον Or-βέλτιστο, δύο τόξα διαγράφονται, και το τρίτο απαλείφεται όταν εισάγεται η αλυσίδα πάλι στην διαδρομή. Ωστόσο, ο αριθμός των δυνατών Or-ανταλλαγών είναι πολύ μικρότερος από αυτό των δυνατών του 3-opt. Ο Or-βέλτιστος φαίνεται επίσης να παράγει βελτιωμένες λύσεις ισοδύναμης ποιότητας με τις λύσεις που παράγει η 3-opt, ενώ απαιτεί σημαντικά λιγότερο υπολογιστικό χρόνο.

Ο αλγόριθμος Or-βέλτιστο μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως:

Βήμα 1: Θεώρησε μια αρχική διαδρομή και θέσε $t=1$ και $s=3$.

Βήμα 2: Αφαίρεσε από τη διαδρομή μια αλυσίδα από s συνεχόμενους κόμβους, ξεκινώντας με τον κόμβο στην θέση t , και διστακτικά εισήγαγε την ανάμεσα σε όλα τα εναπομείναντα ζεύγη συνεχών κόμβων της διαδρομής.

Βήμα 2.1: Εάν η διστακτική εισαγωγή μειώνει το κόστος της διαδρομής, υλοποίησε την άμεσα, προσδιορίζοντας έτσι μια καινούρια διαδρομή, θέσε $t=1$ και επανέλαβε το Βήμα 2.

Βήμα 2.2: Εάν καμία διστακτική εισαγωγή δεν μειώνει το κόστος της διαδρομής, θέσε $t=t+1$. Εάν $t=n+1$ τότε συνέχισε με το Βήμα 3, αλλιώς επανέλαβε το Βήμα 2.

Βήμα 3: Θέσε $t=1$ και $s=s-1$. Εάν $s > 0$ πήγαινε στο Βήμα 2, αλλιώς σταμάτα. [10]

3.1.4 Αλγόριθμος Sweep

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι που εξετάζουν τα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων. Οι περισσότεροι από αυτούς αφορούν προβλήματα δρομολόγησης όπου η ζήτηση είναι γνωστή. Ένας από τους απλούστερους είναι ο αλγόριθμος sweep, ο οποίος κατασκευάστηκε για να δημιουργεί διαδρομές για τα οχήματα παράδοσης αγαθών, όπου μία λύση για το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή πραγματοποιείται στο δεύτερο στάδιο από τα δυο στάδια στα οποία εκτελείται ο αλγόριθμος.

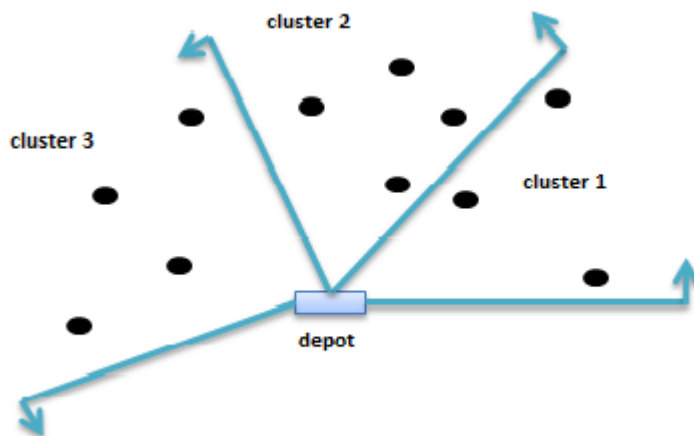
Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος sweep λειτουργεί σε δύο στάδια τα οποία είναι:

- συγκέντρωση και
- παραγωγή διαδρομών.

Στην πρώτη φάση όλοι οι κόμβοι είναι συγκεντρωμένοι βασισμένοι στην ικανότητα τους και λέγοντας ικανότητα εννοούμε τον μέγιστο αριθμό εμπορευμάτων που μπορεί να μεταφερθεί στην εξυπηρέτηση μίας διαδρομής. Σε αυτή την περίπτωση, ο μέγιστος αριθμός εμπορευμάτων που μεταφέρονται με το όχημα εξαρτάται από την ικανότητα του ίδιου του οχήματος. Αφ' ετέρου, η ικανότητα για τη δρομολόγηση λεωφορείων είναι ο μέγιστος αριθμός επιβατών που μπορεί να μεταφερθεί με ένα λεωφορείο κατά μήκος της διαδρομής. Σε αυτήν την περίπτωση, η ικανότητα ενός λεωφορείου δεν αντιπροσωπεύει το μέγιστο αριθμό από τους επιβάτες που μπορούν να μεταφερθούν κατά μήκος της διαδρομής επειδή μερικοί από τους επιβάτες μπορούν να αποβιβαστούν πριν από την ολοκλήρωση της διαδρομής. Το λεωφορείο μπορεί επίσης να εξυπηρετήσει περισσότερους επιβάτες.

Στάδιο 1: Συγκέντρωση

Το σχήμα 3.4 επεξηγεί μια διαδικασία συγκέντρωσης διάφορων κόμβων. Στον αλγόριθμο sweep χρησιμοποιούμε πολικές συντεταγμένες. Τα μαύρα σημεία αντιπροσωπεύουν τους κόμβους και οι ευθείες γραμμές δείχνουν τη φορά που γίνεται το "σκούπισμα", η οποία είναι αντίθετη από την φορά των δεικτών του ρολογιού. Η συγκέντρωση εκτελείται ενώνοντας κόμβους ξεκινώντας από τον πρώτο κόμβο, που θα είναι ο πιο κοντινός, δηλαδή αυτός που θα σχηματίζει τη μικρότερη γωνία με τον άξονα x (αφού αναφερόμαστε σε πολικές συντεταγμένες). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται με την ένωση του δεύτερου κοντινότερου κόμβου, του τρίτου και θα συνεχίζεται στους επόμενους όσο δεν παραβιάζεται ο περιορισμός ικανότητας. Όσο η συνολική ζήτηση (δηλαδή το άθροισμα της ζήτησης για κάθε ένα κόμβο που προσθέτω) είναι μικρότερη από τον περιορισμό ικανότητας συνεχίζω να ενώνω κόμβους. Όταν ένας κόμβος δεν μπορεί να περιληφθεί στην πρώτη συστάδα, δεδομένου ότι αυτό θα παραβίαζε τον περιορισμό, αυτός ο κόμβος γίνεται ο πρώτος κόμβος της δεύτερης συστάδας. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν περιλαμβάνονται όλοι οι κόμβοι στις συστάδες.



Σχήμα 3.4: Συγκέντρωση κόμβων με τη μέθοδο sweep

Στάδιο 2: Παραγωγή διαδρομών

Η παραγωγή διαδρομών στοχεύει στο να συνδέσει όλους τους κόμβους σε κάθε συστάδα που ξεκινάει και τελειώνει στην ίδια αποθήκη. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια συντομότερη πορεία που συνδέει όλους τους κόμβους στη συστάδα.

Η ιδέα του TSP είναι να βρει έναν βέλτιστο “γύρο”. “Γύρος” για ένα πρόβλημα TSP είναι ένα κύκλωμα σε μια γραφική παράσταση που περιέχει κάθε κόμβο ακριβώς μια φορά. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται σε αυτό το στάδιο του TSP είναι ο κοντινότερος-γειτονικός αλγόριθμος (Bellmore & Nemhauser, 1968).

Ο αλγόριθμος sweep μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους, ξεκινώντας από την αρχή και ξεκινώντας από το τέλος. Στην πρώτη περίπτωση, οι θέσεις είναι συγκεντρωμένες από τον πρώτο κόμβο και συνεχίζονται στους επόμενους κόμβους κατά τρόπο δεξιόστροφο. Η διαδικασία στη δεύτερη περίπτωση είναι η ίδια, εκτός από το ότι διαμορφώνει τις συστάδες στην αντίστροφα..

Και οι δύο μέθοδοι συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να καθοριστεί ποια μέθοδος δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. [10]

3.2 Μεθευρετικές μέθοδοι

Τα τελευταία χρόνια οι μεθευρετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Λόγω της πολυπλοκότητας που διέπει τους αλγορίθμους των μεθευρετικών μεθόδων ακόμη και σήμερα δεν έχει δοθεί επίσημα ένας ορισμός τους.

Οι μεθευρετικές μέθοδοι έχουν ως κύριο στόχο την εξονυχιστική εξερεύνηση των διαστημάτων πιθανών λύσεων. Η ποιότητα των λύσεων που επιτυγχάνονται με τις μεθόδους αυτές είναι πολύ καλύτερη από την ποιότητα που δίνουν οι κλασσικές ευρετικές μέθοδοι.

Για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι μεθευρετικοί αλγόριθμοι. Οι βασικότεροι από αυτούς είναι:

- Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization)
- Αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης –(Tabu Search (TS))

- Γενετικοί Αλγόριθμοι – (Genetic Algorithms (GA))
- Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization (PSO))
- Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing) [6]

3.2.1 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization)

Η Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization ACO)) είναι μια σχετικά νέα στρατηγική για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Η Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών είναι ένα σύστημα που μιμείται τη συμπεριφορά των πραγματικών μυρμηγκιών κατά τη διαδικασία της εύρεσης της τροφής τους. Τα μυρμηγκία αναπτύσσουν μια τεχνική για να βρουν τη συντομότερη διαδρομή από την φωλιά τους προς την πηγή της τροφής τους και αντίθετα. Τα μυρμηγκία ξεκινούν την αναζήτηση της τροφής γύρω από την πηγή με τυχαίο τρόπο και καθώς κινούνται αφήνουν μια ποσότητα μιας ουσίας που ονομάζεται φερομόνη και με αυτό τον τρόπο μαρκάρουν το μονοπάτι που έχουν διανύσει. Η ποσότητα της φερομόνης στο κάθε μονοπάτι εξαρτάται από την απόσταση, την ποιότητα και την ποσότητα της τροφής που βρέθηκε. Το επόμενο μυρμηγκί που θα φύγει από τη φωλιά του είναι πολύ πιθανό να ακολουθήσει τη φερομόνη που θα υπάρχει σε κάποιο μονοπάτι, αφήνοντας μια ποσότητα φερομόνης στο ίδιο μονοπάτι. Καθώς η ποσότητα φερομόνης στο συγκεκριμένο μονοπάτι όλο και αυξάνεται όλο και περισσότερα μυρμηγκία ακολουθούν αυτό το μονοπάτι. Όμως καθώς η ώρα περνάει η φερομόνη, ιδιαίτερα από τα μονοπάτια που δεν πηγαίνουν πολλά μυρμηγκία, ελαττώνεται. Τελικά από όλα τα υπόλοιπα μονοπάτια η φερομόνη εξαφανίζεται και όλα τα μυρμηγκία ακολουθούν τελικά το ίδιο μονοπάτι, που είναι και η βέλτιστη ή η σχεδόν βέλτιστη λύση. [6]

3.2.2 Αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης (Tabu Search - TS)

Ο μεθευρετικός αλγόριθμος της περιορισμένης αναζήτησης, είναι ίσως ο πιο γνωστός μεθευρετικός αλγόριθμος. Η περιορισμένη αναζήτηση χρησιμοποιεί ένα ευρετικό αλγόριθμο για να μετακινηθεί από την μια λύση στην άλλη. Όμως, όπως και στους άλλους μεθευρετικούς αλγορίθμους, υπάρχει η πιθανότητα η λύση να παγιδευτεί σε τοπικό ελάχιστο. Η σημαντική διαφορά της περιορισμένης αναζήτησης από την στρατηγική της προσομοιωμένης ανόπτησης είναι ότι για να ξεφύγει η λύση από το τοπικό ελάχιστο χρησιμοποιείται μια συγκεκριμένη στρατηγική για την επιλογή της επόμενης λύσης και δεν γίνεται τυχαία επιλογή της επόμενης λύσης. Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιεί μνήμη αντί για πιθανότητα. Όταν λέμε μνήμη εννοούμε μνήμη από τις προηγούμενες κινήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί.

Για να αποφευχθούν οι συνεχείς επιστροφές σε προηγούμενες λύσεις (δηλαδή για να αποφευχθούν οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι γύρω από μια ομάδα λύσεων) οι τελευταίες κινήσεις καταγράφονται σε μια λίστα, η οποία ονομάζεται λίστα περιορισμένων κινήσεων (tabu list) και οι συγκεκριμένες κινήσεις απαγορεύεται να επιστρέψουν στην λύση για συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων.

Μία σύντομη περιγραφή του αλγορίθμου της περιορισμένης αναζήτησης είναι η ακόλουθη: Αρχικά, μια αρχική λύση κατασκευάζεται αξιοποιώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε προβλήματος. Στη συνέχεια η τιμή της συνάρτησης κόστους για τις υποψήφιες λύσεις στη γειτονιά της αρχικής λύσης υπολογίζεται και γίνεται μια προσπάθεια να κινηθούμε στη γειτονιά που δίνει την καλύτερη λύση.

Συνήθως είναι η καλύτερη τιμή της συνάρτησης κόστους που καθορίζει την ποιότητα της λύσης. Για να γλιτώσουμε περιττούς υπολογισμούς του κόστους υπολογίζεται μια τιμή κίνησης (move value) αντί να υπολογιστεί το ολικό κόστος. Έτσι, αντί της συνάρτησης κόστους $c(s)$ χρησιμοποιείται μια συνάρτηση $dc(s)$ για να υπολογιστούν οι αλλαγές που συσχετίζονται με την κίνηση. [6]

3.2.3 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization -PSO)

Ο Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων(Particle Swarm Optimization) είναι ένας πολύ γνωστός αλγόριθμος ολικής βελτιστοποίησης που προτάθηκε για να προσομοιωθεί η κοινωνική συμπεριφορά κάποιων οργανισμών, όπως το πέταγμα σε μορφή σμήνους των πουλιών και την ομαδική κίνηση των ψαριών.

Αρχικά, ένας αριθμός από σωματίδια δημιουργούνται, όπου το κάθε ένα από αυτά έχει μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο λύσεων και κινείται με μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Η θέση που έχει το κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη λύση στο πρόβλημα και αναπαριστάται με ένα n -διαστάσεων διάνυσμα στο χώρο λύσεων S_{ij} , $i = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, n$ (N είναι το μέγεθος του πληθυσμού, n είναι ο αριθμός των κόμβων), και η απόδοση της εκτιμάται από μια προκαθορισμένη συνάρτηση ποιότητας (fitness function). Έτσι, κάθε σωματίδιο τοποθετείται, αρχικά, τυχαία σε ένα n -διαστάσεων χώρο σαν μια υποψήφια λύση. Η ταχύτητα u_{ij} , αντιπροσωπεύει τις αλλαγές που θα γίνουν για να κινηθεί το σωματίδιο από την μία θέση στην άλλη. Η κατεύθυνση όπου θα κινηθεί το σωματίδιο υπολογίζεται από τη δυναμική αλληλεπίδραση της δικής του εμπειρίας και της εμπειρίας ολόκληρου του σμήνους. Το κάθε σωματίδιο έχει τρεις πιθανότητες για να αναπροσαρμόσει την τροχιά του κατά την διάρκεια της κίνησης του. Η πρώτη είναι να ακολουθήσει μια δική του διαδρομή, η δεύτερη να κινηθεί προς τη βέλτιστη θέση που είχε κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων, και η τρίτη είναι να κινηθεί προς τη θέση που έχει το βέλτιστο σωματίδιο στον πληθυσμό. Κάθε σωματίδιο προσαρμόζει την τροχιά που κινείται βάση της προηγούμενης. [6]

3.2.4 Γενετικοί Αλγόριθμοι –(Genetic Algorithms - GA)

Ένας γενετικός αλγόριθμος είναι μια στοχαστική επαναληπτική διαδικασία που διατηρεί το μέγεθος του πληθυσμού σταθερό σε κάθε επανάληψη, η οποία ονομάζεται γενιά (generation). Η βασική τους λειτουργία είναι το ταίριασμα δύο λύσεων με στόχο να δημιουργήσουν μια νέα λύση. Για να δημιουργηθεί μια νέα λύση εφαρμόζονται δύο τελεστές, ένας δυαδικός τελεστής που ονομάζεται διασταύρωση (crossover) και ένας μοναδιαίος τελεστής που ονομάζεται μετάλλαξη (mutation). Η διασταύρωση παίρνει δύο άτομα που ονομάζονται γονείς (parents) και παράγει με την ανταλλαγή τμημάτων των γονέων δύο νέα άτομα που ονομάζονται απόγονοι (offspring). Κάθε άτομο στον πληθυσμό αντιπροσωπεύει μια υποψήφια λύση για το πρόβλημα επιλογής υποσυνόλου χαρακτηριστικών.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να εφαρμοστούν με ποικίλους τρόπους και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

Βήμα 1: Έναρξη

Αρχικοποίηση πληθυσμού

Βήμα 2: Εκτέλεση

Επέλεξε δύο άτομα I1 και I2 του πληθυσμού.

Εφάρμοσε τον χειριστή διασταυρώσεων στα άτομα I1 και I2 για να παράγει ένα νέο άτομο I3.

Επέλεξε δύο άτομα μεταξύ των I1, I2 και I3.

Εκτέλεσε περιστασιακά την μετανάστευση έως ότου ο πληθυσμός να συγκλίνει

Βήμα3: Τέλος

Αυτή είναι η απλούστερη περιγραφή του γενετικού αλγορίθμου. Κάθε εκτέλεση του βρόχου επανάληψης καλείται δοκιμή. [6]

3.2.5 Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)

Η προσομοιωμένη ανόπτηση είναι μια γενίκευση της μεθόδου Monte Carlo για τις εξισώσεις της κατάστασης και των παγωμένων καταστάσεων των συστημάτων n-σωμάτων. Η έννοια είναι βασισμένη στον τρόπο με τον οποίο τα υγρά παγώνουν ή τα μέταλλα επανακρυσταλλώνονται στο στάδιο της ανόπτησης. Σε μια διαδικασία ανόπτησης ένα λειωμένο μέταλλο, αρχικά στην υψηλή θερμοκρασία και δίχως τάξη (αταξία συστήματος), δροσίζεται αργά έτσι ώστε το σύστημα να είναι οποιαδήποτε στιγμή περίπου στη θερμοδυναμική ισορροπία. Καθώς η ψύξη προχωράει, το σύστημα μπαίνει περισσότερο σε τάξη και πλησιάζει μια "παγωμένη" θεμελιώδης κατάσταση όπου $T=0$. Ως εκ τούτου η διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως αδιαβατική προσέγγιση στη χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Εάν η αρχική θερμοκρασία του συστήματος είναι πάρα πολύ χαμηλή ή η ψύξη γίνεται ανεπαρκώς αργά, το σύστημα μπορεί να γίνει αποσβεσμένο διαμορφώνοντας τις ατέλειες ή παγώνοντας σε ασταθείς καταστάσεις (δηλ. παγιδεύεται σε μία τοπικά ελάχιστη ενεργειακή κατάσταση).

Το αρχικό σχέδιο Metropolis ήταν ότι μια αρχική κατάσταση ενός θερμοδυναμικού συστήματος επιλέχτηκε στην ενέργεια E και τη θερμοκρασία T , όπου κρατώντας τη σταθερά T η αρχική διαμόρφωση είναι διαταραγμένη και η αλλαγή στην ενέργεια dE υπολογίζεται. Εάν η αλλαγή στην ενέργεια είναι αρνητική η νέα διαμόρφωση γίνεται αποδεκτή. Εάν η αλλαγή στην ενέργεια είναι θετική γίνεται αποδεκτή με μια πιθανότητα που δίνεται από τον παράγοντα Boltzmann $\exp(-dE/T)$. Αυτές οι διαδικασίες είναι έπειτα επαναλαμβανόμενες αρκετές φορές για να δώσουν καλές στατιστικές δειγματοληψίας για την τρέχουσα θερμοκρασία, και έπειτα η θερμοκρασία μειώνεται και ολόκληρη η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτυγχάνεται μία παγωμένη κατάσταση $T=0$.

Αναλογικά η γενίκευση αυτής της προσέγγισης Monte Carlo στα συνδυαστικά προβλήματα είναι απλή. Η τρέχουσα κατάσταση του θερμοδυναμικού συστήματος είναι ανάλογη με την τρέχουσα λύση με το συνδυαστικό πρόβλημα, η ενεργειακή εξίσωση για το θερμοδυναμικό σύστημα είναι ανάλογη με την αντικειμενική λειτουργία, και η θεμελιώδης κατάσταση είναι ανάλογη με το ολικό ελάχιστο. Η σημαντικότερη δυσκολία στην εφαρμογή του αλγορίθμου είναι ότι δεν υπάρχει καμία προφανής αναλογία για τη θερμοκρασία T όσον αφορά μια ελεύθερη παράμετρο στο συνδυαστικό πρόβλημα. Επιπλέον, η αποφυγή της παράσυρσης στα τοπικά ελάχιστα (απόσβεση) εξαρτάται από το "πρόγραμμα ανόπτησης", την επιλογή της αρχικής θερμοκρασίας, πόσες επαναλήψεις εκτελούνται σε κάθε θερμοκρασία, και πόσο η θερμοκρασία μειώνεται σε κάθε βήμα καθώς η ψύξη προχωρά. Η προσομοιωμένη ανόπτηση έχει χρησιμοποιηθεί στα διάφορα συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης και είναι ιδιαίτερα επιτυχής στα προβλήματα σχεδίου κυκλωμάτων.

Όπως το όνομά της υπονοεί, η προσομοιωμένη ανόπτηση [simulated annealing (SA)] εκμεταλλεύεται μια αναλογία μεταξύ του τρόπου με τον οποίο ένα μέταλλο δροσίζεται και

παγώνει σε μια ελάχιστη ενεργειακή κρυστάλλινη δομή (διαδικασία ανόπτησης) και την αναζήτηση ενός ελάχιστου σε ένα γενικότερο σύστημα.

Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος σε αυτόν του Metropolis, που προτάθηκε αρχικά ως μέσο εύρεσης της διαμόρφωσης ισορροπίας μιας συλλογής των ατόμων σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Η σύνδεση μεταξύ αυτού του αλγορίθμου και της μαθηματικής ελαχιστοποίησης σημειώθηκε αρχικά από τον Pincus, αλλά ήταν ο Kirkpatrick που πρότεινε να αποτελεί τη βάση μιας τεχνικής βελτιστοποίησης για τα συνδυαστικά (και άλλα) προβλήματα.

Σημαντικό πλεονέκτημα της προσομοιωμένης ανόπτησης από τις άλλες μεθόδους είναι η δυνατότητα να αποφεύγει να "παγιδεύεται" στα τοπικά ελάχιστα. Ο αλγόριθμος υιοθετεί μια τυχαία αναζήτηση που όχι μόνο δέχεται τις αλλαγές που μειώνουν την αντικειμενική συνάρτηση f , αλλά και μερικές αλλαγές που την αυξάνουν. Τα τελευταία γίνονται αποδεκτά με μια πιθανότητα όπου δf είναι η αύξηση στο f και το T είναι μια παράμετρος ελέγχου, η οποία αναλογικά με την αρχική εφαρμογή είναι γνωστή ως θερμοκρασία συστημάτων ανεξάρτητα από την συμμετοχή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Κάποια σκέψη πρέπει να δοθεί στο χειρισμό των περιορισμών κατά τη χρησιμοποίηση του αλγορίθμου προσομοιωμένης ανόπτησης. Σε πολλές περιπτώσεις η ρουτίνα μπορεί απλά να προγραμματιστεί για να απορρίψει οποιεσδήποτε προτεινόμενες αλλαγές που οδηγούν στην παραβίαση περιορισμού, έτσι ώστε να εκτελείται μια αναζήτηση εφικτού διαστήματος.

Εντούτοις, υπάρχουν δύο σημαντικές περιστάσεις στις οποίες αυτή η προσέγγιση δεν μπορεί να ακολουθηθεί:

1. Εάν υπάρχουν οποιοιδήποτε περιορισμοί ισότητας που καθορίζονται στο σύστημα,
2. Εάν το εφικτό διάστημα που καθορίζεται από τους περιορισμούς είναι (ή πιθανολογείται να είναι) χωριστό, έτσι ώστε να μην είναι δυνατό να κινηθεί μεταξύ όλων των εφικτών λύσεων χωρίς διάβαση μέσω του απραγματοποίητου διαστήματος. [6]

Κεφάλαιο 4

Γενετικοί Αλγόριθμοι

4.1 Ιστορική Αναδρομή

Κατά τη δεκαετία του 1950 και του 1960 αρκετοί επιστήμονες της πληροφορικής μελέτησαν εξελικτικά συστήματα βασιζόμενοι στην ιδέα ότι η εξέλιξη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο βελτιστοποίησης για τεχνικά προβλήματα. Η βασική ιδέα σε όλα αυτά τα συστήματα ήταν η εξέλιξη ενός πληθυσμού υποψηφίων λύσεων ενός συγκεκριμένου προβλήματος, χρησιμοποιώντας φορείς εμπνευσμένους από την γενετική τροποποίηση και τη φυσική επιλογή.

Στη δεκαετία του 1960, ο Rechenberg παρουσίασε τη μέθοδο εξελικτικών στρατηγικών (evolution strategy), μια μέθοδο που χρησιμοποίησε για να βελτιστοποιηθούν παράμετροι πραγματικών τιμών για συσκευές όπως οι αεροτομές. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Schwefel (1975, 1977). Το πεδίο των εξελικτικών στρατηγικών παρέμεινε μια ενεργή περιοχή της έρευνας, αναπτυσσόμενο ανεξάρτητα από τον τομέα των γενετικών αλγόριθμων, μολονότι πρόσφατα τα δύο πεδία είχαν αρχίσει να αλληλεπιδρούν. Το 1966 οι Fogel, Owens και Walsh ανέπτυξαν τον εξελικτικό προγραμματισμό (evolutionary programming), μια τεχνική όπου οι υποψήφιοι λύσεις αναπαριστάνονταν ως finite-state μηχανές, οι οποίες είχαν εξελιχθεί από τυχαίες μεταλλάξεις των διαγραμμάτων μετάβασης και τελικά επιλεγόταν η καταλληλότερη λύση. Η μέθοδος των εξελικτικών στρατηγικών (evolution strategy), του εξελικτικού προγραμματισμού (evolutionary programming) και των γενετικών αλγόριθμων (genetic algorithms) αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του τομέα του εξελικτικού υπολογισμού (evolutionary computation).

Πολλά άλλα άτομα που εργάζονται στις δεκαετίες του 1950 και του 1960 ανέπτυξαν αλγόριθμους εμπνευσμένους από τους εξελικτικούς αλγόριθμους, για τη βελτιστοποίηση και τη μηχανική μάθησης. Οι Box (1957), Friedman (1959), Bledsoe (1961), Bremermann (1962), και Reed, Toombs, και Baricelli (1967) εργάστηκαν σε αυτόν τον τομέα, αν και στο έργο τους έχει δοθεί ελάχιστη προσοχή. Επίσης, διάφοροι εξελικτικοί βιολόγοι χρησιμοποίησαν τους υπολογιστές για να προσομοιώσουν την εξέλιξη με σκοπό τα ελεγχόμενα πειράματα. Ο εξελικτικός υπολογισμός (evolutionary computation) πάντως ήταν σίγουρα σε πολύ πρώιμο στάδιο κατά τις αρχικές ημέρες του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Οι Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms) εφευρέθηκαν από τον John Holland τη δεκαετία του 1960 και αναπτύχθηκαν από τον ίδιο, τους μαθητές του και τους συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν τη δεκαετία του 1960 και του 1970. Σε αντίθεση με τις στρατηγικές εξέλιξης και του εξελικτικού προγραμματισμού, ο αρχικός στόχος του Holland δεν ήταν ο σχεδιασμός αλγορίθμων για την επίλυση ειδικών προβλημάτων, αλλά η μελέτη του φαινομένου της προσαρμογής, όπως αυτό απαντάται στη φύση, και η ανάπτυξη μεθόδων με τους οποίους οι μηχανισμοί της φυσικής προσαρμογής θα μπορούσαν να εισαχθούν στα συστήματα των υπολογιστών. Το 1975, στο βιβλίο «Προσαρμογή σε φυσικά και τεχνητά συστήματα» ο Holland παρουσίασε τον γενετικό αλγόριθμο ως μια αφηρημένη έννοια της βιολογικής εξέλιξης και έδωσε ένα θεωρητικό πλαίσιο στην προσαρμογή υπό τον γενετικό αλγόριθμο. Ο γενετικός αλγόριθμος του Holland είναι μια μέθοδος μετάβασης από έναν πληθυσμό "χρωμοσωμάτων" (π.χ. string μονάδων και μηδενικών, ή bits) σε ένα νέο πληθυσμό, χρησιμοποιώντας ένα είδος "φυσικής επιλογής", σε συνδυασμό με έναν γενετικά-εμπνευσμένο χειριστή της διασταύρωσης (crossover), της μετάλλαξης (mutation), και της αναστροφής (inversion). Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από "γονίδια" (π.χ. bits) και κάθε γονίδιο είναι ένα

παράδειγμα ενός συγκεκριμένου "αλληλόμορφου" (π.χ. 0 ή 1). Ο χειριστής επιλογής επιλέγει εκείνα τα χρωμοσώματα του πληθυσμού τα οποία θα επιτρέπεται να αναπαραχθούν και τα οποία παράγουν κατά μέσο όρο περισσότερους απογόνους από ό, τι τα λιγότερο κατάλληλα. Η διασταύρωση (crossover) ανταλλάσσει υπομήματα των δύο χρωμοσωμάτων, μιμούμενη τον βιολογικό επανασυνδυασμό μεταξύ δύο μονοχρωμοσωματικών οργανισμών. Η μετάλλαξη (mutation) αλλάζει τυχαία τις τιμές σε ορισμένες τοποθεσίες του χρωμοσώματος και η αναστροφή (inversion) αντιστρέφει τη σειρά του ενός συνεχούς τμήματος του χρωμοσώματος, επανακαθορίζοντας τη σειρά με την οποία τα γονίδια παραταγμένα.

Η παρουσίαση του Holland ενός πληθυσμού βασισμένου σε αλγόριθμο με διασταύρωση (crossover), αναστροφή (inversion), και μετάλλαξη (mutation) ήταν μια σημαντική καινοτομία. Η μέθοδος εξελικτικών στρατηγικών του Rechenberg ξεκινούσε με έναν "πληθυσμό" από δύο άτομα, τον γονέα και τον απόγονο, όπου ο απόγονος είναι μια μεταλλαγμένη μορφή του γονέα. Η μέθοδος του εξελικτικού προγραμματισμού (evolutionary programming) των Fogel και Owens, καθώς και η μέθοδος του εξελικτικού προγραμματισμού (evolutionary programming) του Walsh χρησιμοποιούσαν μόνο τη μετάλλαξη για την επίτευξη παραλλαγών. Ο Holland έκανε την πρώτη απόπειρα να θέσει την υπολογιστική εξέλιξη (computational evolution) υπό σταθερή θεωρητική βάση (1975). Μέχρι πρόσφατα, το θεωρητικό αυτό υπόβαθρο που βασίζεται στην έννοια της «σχημάτων», ήταν η βάση όλης σχεδόν της μετέπειτα θεωρητικής εργασίας σχετικά με τους γενετικούς αλγορίθμους.

Κατά τα τελευταία χρόνια υπήρξε εκτεταμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των ερευνητών που μελετούν τις διάφορες μεθόδους εξελικτικού υπολογισμού (evolutionary computation), και τα όρια μεταξύ του γενετικού αλγόριθμου (genetic algorithm), των εξελικτικών στρατηγικών (evolution strategies) και των στρατηγικών εξελικτικού προγραμματισμού (evolutionary programming), καθώς και άλλων εξελικτικών προσεγγίσεων δεν είναι πλέον σαφή. Σήμερα, οι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνά τον όρο γενετικό αλγόριθμο (genetic algorithm) περιγράφοντας κάτι αρκετά διαφορετικό από την αρχική σύλληψη του Holland. [11]

4.2 Η Ελκυστικότητα της εξέλιξης

Γιατί χρησιμοποιούμε την εξέλιξη ως πηγή έμπνευσης για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων; Για τους ερευνητές του εξελικτικού υπολογισμού (evolutionary computation), οι μηχανισμοί της εξέλιξης φαίνεται να είναι κατάλληλοι για μερικά από τα πιο δύσκολα υπολογιστικά προβλήματα σε πολλούς τομείς. Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν την αναζήτηση μέσα σε έναν τεράστιο αριθμό των πιθανών αποτελεσμάτων για την εξεύρεση λύσεων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το πρόβλημα της υπολογιστικής μηχανικής πρωτεϊνών, όπου ένα αλγόριθμος αναζητεί μεταξύ ενός τεράστιου αριθμού πιθανών ακολουθιών ενός αμινοξέος μια πρωτεΐνης με καθορισμένες ιδιότητες. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αναζήτηση για ένα σύνολο κανόνων ή εξισώσεων που θα είναι σε θέση να προβλέπουν την άνοδο και την κάθοδο της χρηματοπιστωτικής αγοράς, όπως και των ξένων νομισμάτων. Τέτοια προβλήματα αναζήτησης μπορεί συχνά να επωφεληθούν από την αποτελεσματική χρήση του παραλληλισμού, όπου πολλές διαφορετικές εναλλακτικές είναι δυνατόν να διερευνώνται ταυτόχρονα με ιδιαίτερα αποτελεσματικό τρόπο. Για παράδειγμα, στην αναζήτηση πρωτεϊνών με καθορισμένες ιδιότητες, αντί να αξιολογούνται μία-μία οι ακολουθίες των αμινοξέων είναι πολύ πιο γρήγορη η αξιολόγηση περισσότερων ταυτόχρονα. Αυτό που χρειάζεται είναι τόσο ο υπολογιστικός παραλληλισμός (δηλαδή, πολλοί επεξεργαστές να αξιολογούν ακολουθίες την ίδια στιγμή), καθώς και μια ευφυή στρατηγική για την επιλογή της επόμενης σειράς ακολουθιών προς αξιολόγηση.

Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που θα χαρακτηρίζεται από προσαρμοστικότητα, που θα μπορεί δηλαδή να αποδίδει σωστά σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Αυτό συναντάται σε προβλήματα με ρομποτικό έλεγχο, όπου ένα ρομπότ έχει να εκτελέσει μια εργασία σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον, καθώς και να είναι σε θέση να προσαρμοστεί σύμφωνα με τις επιλογές και ιδιαιτερότητες του κάθε χρήστη. Άλλα προβλήματα απαιτούν την ύπαρξη προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών που να είναι καινοτόμα ώστε να είναι σε θέση να κατασκευάσουν κάτι πραγματικά καινούριο και πρωτότυπο, όπως για παράδειγμα ένα νέο αλγόριθμο για την επίλυση μιας υπολογιστικής εργασίας ή ακόμη και μιας νέας επιστημονικής ανακάλυψης. Τέλος, τα υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν πολλές σύνθετες λύσεις που είναι δύσκολο να προγραμματιστούν με το χέρι. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρόβλημα της δημιουργίας τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence). Στα πρωταρχικά στάδια, οι επιστήμονες που ασχολούνταν με την τεχνητή νοημοσύνη πίστευαν ότι θα ήταν εύκολο να κωδικοποιηθούν οι “κανόνες” που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με ένα ευφυές πρόγραμμα. Σήμερα, πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι οι “κανόνες” που αφορούν στην τεχνητή νοημοσύνη είναι υπερβολικά πολύπλοκο να κωδικοποιηθούν με το χέρι σύμφωνα με την λογική top-down (επίλυση όπου ξεκινάμε από το ανώτερο επίπεδο και αναλύουμε στη συνέχεια τις λεπτομέρειες). Αντί αυτού θεωρούν ότι η καλύτερη διαδρομή για τεχνητή νοημοσύνη είναι μέσω ενός bottom-up (επίλυση όπου ξεκινάμε από τις λεπτομέρειες του προβλήματος και στοχεύουμε στο ανώτερο επίπεδο) παραδείγματος, στον οποίο ο άνθρωπος γράφει μόνο πολύ απλούς “κανόνες” και οι περίπλοκες συμπεριφορές, όπως η νοημοσύνη, προκύπτουν από τις μαζικά παράλληλες εφαρμογές σε συνδυασμό με τους απλούς κανόνες. Η “συνδεσιμότητα” (Connectionism) δηλαδή, η μελέτη των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών που έχουν εμπνευστεί από τα νευρωνικά συστήματα) είναι ένα παράδειγμα αυτής της φιλοσοφίας, ενώ ένα άλλο παράδειγμα είναι ο εξελικτικός υπολογισμός (evolutionary computation). Στην περίπτωση της “συνδεσιμότητας” το αποτέλεσμα είναι η εξελιγμένη αναγνώριση προτύπων και μάθησης. Στην περίπτωση του εξελικτικού υπολογισμού (evolutionary computation) το αποτέλεσμα είναι ο σχεδιασμός υψηλής ποιότητας λύσεων σε δύσκολα προβλήματα και η ικανότητα προσαρμογής αυτών των λύσεων για την αντιμετώπιση του μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος.

Η βιολογική εξέλιξη είναι μια ελκυστική πηγή έμπνευσης για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Η εξέλιξη είναι ουσιαστικά μια μέθοδος αναζήτησης μέσα σε ένα τεράστιο αριθμό πιθανών εναλλακτικών για λύσεις. Στη βιολογία το τεράστιο σύνολο των εναλλακτικών είναι το σύνολο των πιθανών γενετικών αλληλουχιών, και οι επιθυμητές λύσεις είναι μεγάλης προσαρμοστικότητας οργανισμοί, οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν στο περιβάλλον τους. Η εξέλιξη μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μια μέθοδος για τον σχεδιασμό καινοτόμων λύσεων για σύνθετα προβλήματα. Για παράδειγμα, το ανοσοποιητικό σύστημα των θηλαστικών είναι μια θαυμάσια εξελικτική λύση στο πρόβλημα των μικροβίων που εισβάλλουν στο σώμα. Υπό αυτό το πρίσμα, οι μηχανισμοί της εξέλιξης μπορούν να εμπνεύσουν τις υπολογιστικές μεθόδους αναζήτησης. Φυσικά η καταλληλότητα ενός βιολογικού οργανισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, για παράδειγμα από το πόσο καλά μπορεί να ανταπεξέλθει στα φυσικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος του ή από το πόσο καλά μπορεί να ανταγωνιστεί ή συνεργαστεί με τους άλλους οργανισμούς με τους οποίους συμβιώνει. Τα κριτήρια καταλληλότητας συνεχώς αλλάζουν όσο οι οργανισμοί εξελίσσονται, και άρα η εξέλιξη αναζητά ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο σύνολο δυνατών εναλλακτικών. Η αναζήτηση λύσεων για την αντιμετώπιση των μεταβαλλόμενων συνθηκών είναι ακριβώς αυτό που απαιτείται για τα προσαρμοστικά προγράμματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Επιπλέον, η εξέλιξη είναι μια μέθοδος μαζικής παράλληλης αναζήτησης: αντί να εργάζεται σε ένα είδος σε μια συγκεκριμένη στιγμή, η εξέλιξη ελέγχει και αλλάζει εκατομμύρια είδη

παράλληλα. Τέλος, οι “κανόνες” της εξέλιξης είναι εξαιρετικά απλοί: τα είδη εξελίσσονται μέσω της τυχαίων αλλαγών (μέσω μετάλλαξης, ανασυνδυασμού, καθώς και άλλων φορέων), ακολουθούμενη από τη φυσική επιλογή στην οποία ο ισχυρότερος τείνει να επιβιώσει και να αναπαραχθεί, έτσι ώστε να μεταδώσει το γενετικό υλικό του στις μελλοντικές γενιές. Ωστόσο, οι απλοί αυτοί “κανόνες” πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνοι σε μεγάλο βαθμό, για την εξαιρετική ποικιλία και την πολυπλοκότητα που συναντάμε στη βιόσφαιρα. [11]

4.3 Όροι της Βιολογίας

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να εισαχθούν μερικοί όροι από τη βιολογική που χρησιμοποιούμε στους γενετικούς αλγόριθμους. Στα πλαίσια των γενετικών αλγορίθμων, οι βιολογικοί όροι χρησιμοποιούνται στο πνεύμα της αναλογίας με την πραγματική βιολογία, αν και οι οντότητες που αναφέρονται είναι πολύ απλούστερες από τις πραγματικές βιολογικές.

Όλοι οι οργανισμοί διαβίωσης αποτελούνται από τα κύτταρα, και κάθε κύτταρο περιέχει το ίδιο σύνολο ενός ή περισσότερων χρωμοσωμάτων (σειρές DNA) που αναπαριστούν το “σχέδιο” του κάθε οργανισμού. Ένα χρωμόσωμα μπορεί να διαιρεθεί σε γονίδια, κάθε ένα από τα οποία κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη. Για την ακρίβεια, ένα γονίδιο είναι η κωδικοποίηση ενός γνωρίσματος, όπως για παράδειγμα το χρώμα ματιών. Το πιθανό διαφορετικό για ένα γνώρισμα γονίδιο (π.χ. μπλε, καφέ) καλείται αλληλόμορφο γονίδιο. Κάθε γονίδιο βρίσκεται σε έναν ιδιαίτερο γεωμετρικό τόπο (θέση) στο χρωμόσωμα.

Πολλοί οργανισμοί έχουν πολλαπλά χρωμοσώματα σε κάθε κύτταρο. Η πλήρης συλλογή του γενετικού υλικού (όλα τα χρωμοσώματα συνολικά) καλείται γονιδίωμα. Ο όρος γονότυπος αναφέρεται στο ιδιαίτερο σύνολο των γονιδίων που περιλαμβάνονται σε ένα γονιδίωμα. Δύο άτομα που έχουν πανομοιότυπα γονιδιώματα λέγεται ότι έχουν τον ίδιο γονότυπο.

Οι οργανισμοί των οποίων τα χρωμοσώματα είναι ταξινομημένα σε ζεύγη ονομάζονται διπλοειδή ενώ οι οργανισμοί των οποίων τα χρωμοσώματα δεν είναι σε ζεύγη ονομάζονται απλοειδή. Στη φύση τα περισσότερα σεξουαλικά αναπαραγόμενα είδη είναι πλέον διπλοειδή, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπινων όντων, που το καθένα έχει 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων σε κάθε σωματικό κύτταρο του σώματος. Κατά τη διάρκεια της σεξουαλικής αναπαραγωγής, πραγματοποιείται η διασταύρωση (crossover): σε κάθε γονέα, τα γονίδια ανταλλάσσονται μεταξύ κάθε ζεύγους χρωμοσωμάτων ώστε να σχηματιστεί ένας γαμέτης (ένα απλό χρωμόσωμα) και στη συνέχεια οι γαμέτες από τους δύο γονείς ενώνονται για να δημιουργήσουν ένα πλήρες σύνολο διπλοειδών χρωμοσωμάτων. Στην απλοειδή σεξουαλική αναπαραγωγή, τα γονίδια ανταλλάσσονται μεταξύ των μονής δέσμης (single-stranded) χρωμοσωμάτων των δύο γονέων. Οι απόγονοι υπόκεινται σε μετάλλαξη, στην οποία απλά νουκλεοτίδια (στοιχειώδη κομμάτια του DNA) αλλάζουν από τον γονέα στους απογόνους, αλλαγές που συχνά προκαλούνται από λάθη κατά την αντιγραφή. Η ικανότητα (ή καταλληλότητα) ενός οργανισμού ορίζεται συνήθως ως η πιθανότητα του οργανισμού να ζήσει ώστε να αναπαραχθεί (βιωσιμότητα), ή ως συνάρτηση του αριθμού των απογόνων του οργανισμού (γονιμότητα).

Στους γενετικούς αλγόριθμους, ο όρος χρωμόσωμα αναφέρεται σε μια υποψήφια λύση ενός προβλήματος, συχνά κωδικοποιημένη ως δυαδική συμβολοσειρά (bit string). Τα γονίδια είναι είτε απλά bit είτε σύντομα κομμάτια παρακείμενων bit που κωδικοποιούν ένα συγκεκριμένο στοιχείο της υποψήφιας λύσης (π.χ., στα πλαίσια της πολυκριτήριας βελτιστοποίησης τα bit που κωδικοποιούν μια συγκεκριμένη παράμετρο μπορούν να θεωρηθούν ένα γονίδιο). Ένα αλληλόμορφο γονίδιο σε μια αλληλουχία bits είναι είτε 0 είτε 1. Όσον αφορά μεγαλύτερα αλφάβητα, σε κάθε σημείο είναι δυνατόν να βρίσκονται περισσότερα του ενός αλληλόμορφου γονιδίου. Η διασταύρωση (crossover) πραγματοποιείται με την ανταλλαγή του γενετικού

υλικού μεταξύ δύο singlechromosome απλοειδών γονέων. Η μετάλλαξη πραγματοποιείται από την αλλαγή ενός bit σε ένα τυχαία επιλεγμένο σημείο (ή, για τα μεγαλύτερα αλφάβητα (μεγαλύτερες αλληλουχίες), με την αντικατάσταση ενός τυχαίου συμβόλου σε ένα τυχαία επιλεγμένο σημείο με ένα τυχαία επιλεγμένο νέο σύμβολο).

Οι περισσότερες εφαρμογές των γενετικών αλγορίθμων αφορούν απλοειδή άτομα, ιδιαίτερα single-chromosome άτομα. Ο γενότυπος ενός ατόμου σε έναν γενετικό αλγόριθμο που χρησιμοποιεί δυαδική συμβολοσειρά (bit string) είναι απλά η διαμόρφωση των bits στο χρωμόσωμα του ατόμου. Συχνά δεν υπάρχει η έννοια του φαινοτύπου στα πλαίσια του γενετικού αλγόριθμου, αν και πρόσφατα έχουν γίνει πειράματα στους γενετικούς αλγόριθμους όπου υπάρχει και το γονοτυπικό αλλά και το φαινοτυπικό επίπεδο (π.χ., η κωδικοποίηση με δυαδική συμβολοσειρά (bit string) ενός νευρικού δικτύου και το ίδιο του νευρικό δίκτυο). [11]

4.4 Γενική μορφή γενετικού αλγόριθμου

Ο γενετικός αλγόριθμος λειτουργεί σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιούργησε τυχαία έναν αρχικό πληθυσμό Π, με N υποψήφιος (μη αποδεκτές, δηλαδή μη έγκυρες ή μη βέλτιστες) λύσεις.
2. Βαθμολόγησε (δηλαδή πόσο κοντά σε μία αποδεκτή λύση είναι) κάθε υποψήφια λύση χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση καταλληλότητας (fitness function).
3. Σχημάτισε N/2 ζευγάρια, όχι απαραίτητα μοναδικών γονέων, δίνοντας μεγαλύτερη προτεραιότητα στις πλέον κατάλληλες λύσεις.
4. Κάθε ζευγάρι ζευγαρώνει (mates), δίνοντας δύο νέες λύσεις, τους απογόνους (offsprings).
5. Ο νέος πληθυσμός Π' αποτελείται από το σύνολο των απογόνων και συνήθως αποτελεί βελτίωση του προηγούμενου πληθυσμού.
6. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το νέο πληθυσμό Π'.

Οι πιο συνηθισμένες συνθήκες τερματισμού του αλγόριθμου είναι η εύρεση μιας τέλει λύσης με βάση τη συνάρτηση καταλληλότητας ή η σύγκλιση όλων των λύσεων σε μια.

Ένας γενετικός αλγόριθμος για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα περιλαμβάνει πέντε συστατικά:

1. Δημιουργία αρχικού πληθυσμού (συνήθως δημιουργείται τυχαία)
2. Αναπαράσταση λύσεων
3. Συνάρτηση καταλληλότητας
4. Επιλογή γονέων
5. Διαδικασία αναπαραγωγής

• Αναπαράσταση Υποψήφιας Λύσεων

Στους βιολογικούς οργανισμούς, ένα χρωμόσωμα είναι ένα μεγάλο μόριο (ακολουθία) DNA και περιέχει έναν αριθμό γονιδίων. Στο πραγματικό DNA το αλφάβητο έχει μήκος τέσσερα και αποτελείται από τα γράμματα A, G, T και C που αντιστοιχούν στα τέσσερα διαφορετικά νουκλεοτίδια (βάσεις) που το συνθέτουν (Adenine, Guanine, Thymine και Cytosine).

Στην κλασική προσέγγιση των γενετικών αλγορίθμων, κάθε υποψήφια λύση αναπαρίσταται με μία συμβολοσειρά (string) ενός πεπερασμένου αλφάβητου όπου συνήθως χρησιμοποιείται το

δυναμικό αλφάβητο, οπότε οι συμβολοσειρές ονομάζονται και δυαδικές συμβολοσειρές (bit-strings). Στα περισσότερα προβλήματα οι λύσεις περιγράφονται με μεταβλητές διαφόρων τύπων δεδομένων, επομένως η διαδικασία της κωδικοποίησης περιλαμβάνει τη μετατροπή των τιμών αυτών των μεταβλητών στις αντίστοιχες δυαδικές. Κατ' αναλογία με τη βιολογία, η συμβολοσειρά συνήθως αναφέρεται και σαν χρωμόσωμα (*chromosome*) ενώ τα επιμέρους τμήματά της που κωδικοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό, δηλαδή κάποια μεταβλητή, ονομάζονται γονίδια (*gene*).

- **Συνάρτηση Καταλληλότητας**

Δέχεται ως είσοδο ένα χρωμόσωμα και επιστρέφει έναν αριθμό (συνήθως στο διάστημα $[0,1]$), που υποδηλώνει το πόσο κατάλληλο είναι. Η αξιολόγηση αυτή χρησιμοποιείται είτε από τη συνθήκη τερματισμού ή από τη διαδικασία της πιθανοκρατικής επιλογής τους για να συμπεριληφθούν (ή όχι) στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

- **Διαδικασία Επιλογής Γονέων**

Απόδοση πιθανοτήτων επιλογής προς αναπαραγωγή στα μέλη ενός πληθυσμού υποψηφίων λύσεων.

Κάποιοι γονείς με υψηλή τιμή στη συνάρτηση καταλληλότητας ενδέχεται να επιλεγούν προς αναπαραγωγή περισσότερες από μία φορές, ενώ κάποιοι γονείς με χαμηλή καταλληλότητα ενδέχεται να μην επιλεγούν καθόλου.

Κατά τη διαδικασία επιλογής, αρχικά οι υποψήφιοι λύσεις αντιγράφονται σε μια δεξαμενή ζευγαρώματος (mating pool).

Σε αυτήν αντιγράφονται μέλη του αρχικού πληθυσμού, με πιθανότητα ανάλογη της καταλληλότητας τους. Για την επιλογή των χρωμοσωμάτων που θα αντιγραφούν στη δεξαμενή ζευγαρώματος χρησιμοποιούνται αρκετές τεχνικές.

- **Διαδικασία Επιλογής Γονέων (Τεχνική της ρουλέτας)**

1. Παράγεται το άθροισμα S όλων των τιμών αξιολόγησης των υποψηφίων λύσεων.
2. Επιλέγεται ένας τυχαίος αριθμός n , από το 0 μέχρι το S , χρησιμοποιώντας συνάρτηση ομοιόμορφης κατανομής για τη δημιουργία των τυχαίων αριθμών.
3. Επαναληπτικά εξετάζεται κάθε υποψήφια λύση και η τιμή του προστίθεται σε έναν καταχωρητή K .
4. Αν η τιμή του K γίνει μεγαλύτερη ή ίση του n , η λύση επιλέγεται και ο K μηδενίζεται. Στην αντίθετη περίπτωση εκτελείται πάλι το 3.
5. Αν δεν έχει επιλεγεί ικανοποιητικός αριθμός υποψηφίων λύσεων εκτελείται το 2, αλλιώς ο αλγόριθμος τερματίζει.

Μια άλλη τεχνική είναι αυτή της επιλογής αναλογικής καταλληλότητας (*fitness proportionate selection*)

☐ Πιθανότητα επιλογής χρωμοσώματος x_i :

$$P(x_i) = \text{Καταλληλότητα}(x_i) / \sum \text{Καταλληλότητα}(x_j)$$

- **Αναπαραγωγή**

Αναπαραγωγή είναι η διαδικασία δημιουργίας απογόνων. Σε αυτή εμπλέκονται ένα σύνολο από τελεστές οι οποίοι αντιστοιχούν σε διαδικασίες της βιολογικής εξέλιξης. Οι πιο συνηθισμένοι τελεστές είναι:

1. Διασταύρωση ενός σημείου (singlepoint crossover)
2. Διασταύρωση δύο σημείων (two-point crossover)
3. Ομοιόμορφη διασταύρωση (uniform crossover)
4. Μετάλλαξη σημείου (point mutation)

	<u>Χρωμοσώματα</u>	<u>Μάσκα Διασταύρωσης</u>	<u>Απόγονοι</u>
	11101001000		11101010101
<u>Διασταύρωση Ενός Σημείου</u>		11111000000	
	00001010101		00001001000
	11101001000		00101000101
<u>Διασταύρωση Δύο Σημείων</u>		00111110000	
	00001010101		11001011000
	11101001000		10001000100
<u>Ομοιόμορφη Διασταύρωση</u>		10011010011	
	00001010101		01101011001
<u>Μετάλλαξη Σημείου</u>	11101001000		11101011000

- **Σύγκλιση Πληθυσμού**

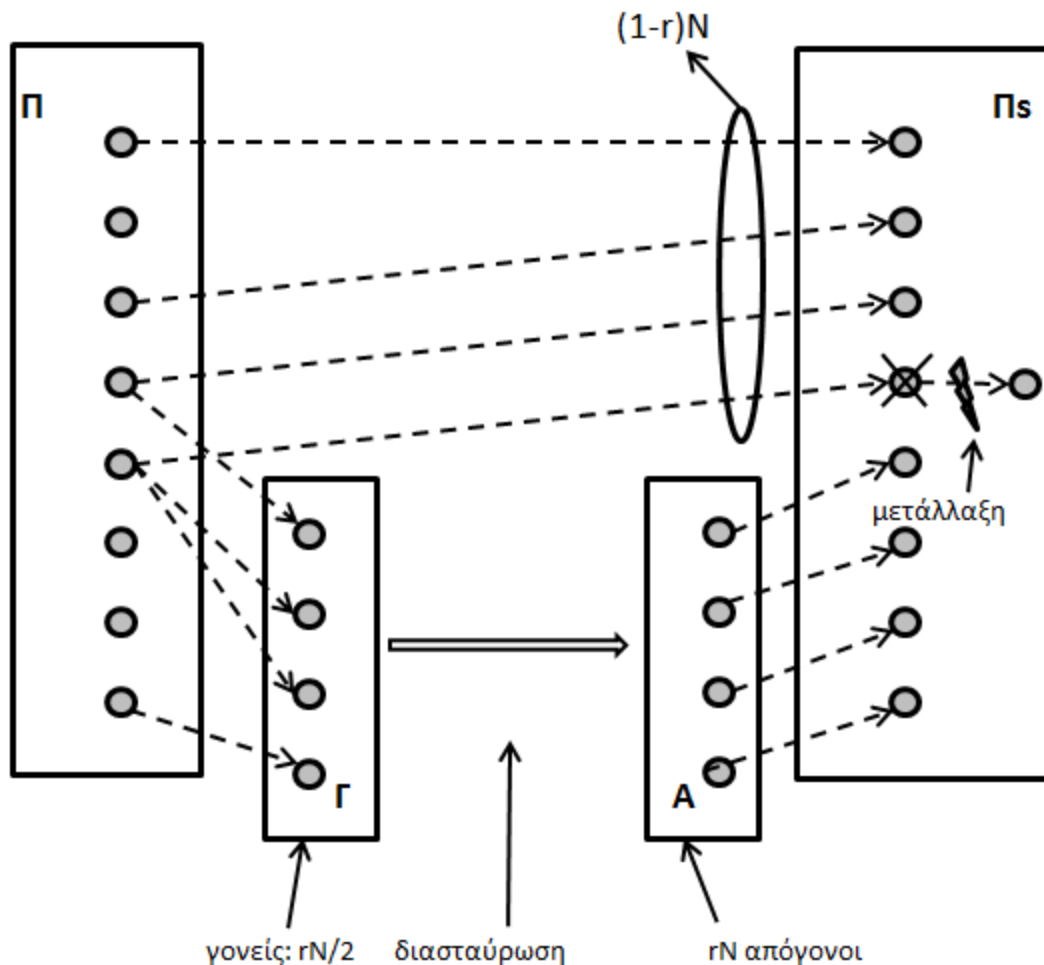
Σύγκλιση είναι η επικράτηση ενός χρωμοσώματος ή μικρών παραλλαγών του, σε μεγάλο ποσοστό στον πληθυσμό. Με έναν αποδοτικό γενετικό αλγόριθμο, ο πληθυσμός θα πρέπει μετά από αρκετές επαναλήψεις να συγκλίνει προς το ολικό μέγιστο. Ένα γονίδιο συγκλίνει, όταν έχει την ίδια τιμή στο 95% των χρωμοσωμάτων. Ένας πληθυσμός συγκλίνει, όταν όλα τα γονίδια του έχουν συγκλίνει. Εναλλακτική προσέγγιση στο θέμα της εξέλιξης του πληθυσμού είναι η μη ανανέωση ολόκληρου του πληθυσμού σε κάθε γενιά, αλλά ενός μέρους αυτού.

- **Μερική Ανανέωση Πληθυσμού**

Η μέθοδος της μερικής ανανέωσης προσεγγίζει πιο πολύ στην πραγματικότητα, αφού εκεί συνυπάρχουν πάντα σε κάποιο βαθμό οι διαφορετικές γενεές. Μάλιστα δίνεται η δυνατότητα στους απογόνους να ανταγωνιστούν τους γονείς τους, επικρατώντας και πάλι ο καλύτερος. Υπάρχουν δύο θέματα στην προσέγγιση της μερικής ανανέωσης: πώς θα επιλεγούν οι γονείς που θα ζευγαρώσουν και πώς θα επιλεγεί ισάριθμος αριθμός γονέων που θα αποχωρήσουν, ώστε να αφήσουν χώρο για τους απογόνους. [4]

Γενικός γενετικός αλγόριθμος

Σχηματική λειτουργία



4.5 Πλεονεκτήματα των Γενετικών Αλγορίθμων

Μερικά από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση Γ.Α. για την επίλυση προβλημάτων είναι τα εξής:

1) Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα. Ένας από τους σημαντικούς λόγους χρήσης των Γ.Α. είναι η μεγάλη τους αποδοτικότητα. Τόσο η θεωρία, όσο και η πράξη έχουν δείξει ότι προβλήματα που έχουν πολλές, δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν καλύτερα από Γ.Α. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι συναρτήσεις που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και καθιστούν ανεπαρκείς άλλες μεθόδους στην εύρεση των ακρότατων τους, για τους Γ.Α. δεν αποτελούν σημεία δυσχέρειας.

2) Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα. Οι Γ.Α. προσφέρουν το σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους με προσθετικό τρόπο στα μοντέλα

που χρησιμοποιούνται σήμερα, μη απαιτώντας την επανασχεδίαση τους. Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τον υπάρχοντα κώδικα, χωρίς μεγάλο κόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες της διαδικασίας ή συνάρτησης που πρόκειται να βελτιστοποιήσουν, δίχως να ενδιαφέρει άμεσα ο ρόλος της μέσα στο σύστημα ή η όλη δομή του συστήματος.

3) Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι. Όπως θα γίνει σαφές στα επόμενα κεφάλαια, οι Γ.Α. δεν αντιστέκονται σε αλλαγές, επεκτάσεις και μετεξελίξεις, ανάλογα με την κρίση του σχεδιαστή. Σε πολλές εφαρμογές, έχουν αναφερθεί λειτουργίες των Γ.Α. που δεν είναι δανεισμένες από τη φύση ή που έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, πάντα προς όφελος της απόδοσης. Παραλλαγές στο βασικό σχήμα δεν είναι απλά αναγκαίες, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις επιβάλλονται.

4) Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους. Αν και η ισχύς των Γ.Α. είναι μεγάλη, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις προβλημάτων, όπου άλλες μέθοδοι συμβαίνει να έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα, λόγω εξειδίκευσης, υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός υβριδικού σχήματος Γ.Α. με άλλη μέθοδο. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ευελιξίας των Γ.Α.

5) Εφαρμόζονται σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο. Το χαρακτηριστικό που τους εξασφαλίζει αυτό το πλεονέκτημα είναι η ελευθερία επιλογής των κριτηρίων που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον. Έτσι, Γ.Α. μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικονομία, στο σχεδιασμό μηχανών, στην επίλυση μαθηματικών εξισώσεων, στην εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων και σε πολλούς άλλους τομείς.

6) Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται. Ο κύριος λόγος που καθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους δύσκαμπτες και ακατάλληλες για πολλά προβλήματα είναι η απαίτησή τους για ύπαρξη περιορισμών, όπως ύπαρξη παραγώγων, συνέχεια, όχι "θορυβώδεις" συναρτήσεις κ.τ.λ. Τέτοιου είδους ιδιότητες είναι αδιάφορες για τους Γ.Α. πράγμα που τους κάνει κατάλληλους για μεγάλο φάσμα προβλημάτων.

7) Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας. Η μόνη "επικοινωνία" του Γ.Α. με το περιβάλλον του είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό εγγυάται την επιτυχία του ανεξάρτητα από την σημασία του προβλήματος. Βέβαια, δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν άλυτα προβλήματα για τους Γ.Α. Όπου όμως δεν τα καταφέρνουν, η αιτία είναι η φύση του χώρου που ερευνούν και όχι το πληροφοριακό περιεχόμενο του προβλήματος.

8) Έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού. Οι Γ.Α. σε κάθε τους βήμα επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας, αφού κάθε άτομο θεωρείται αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Έχει υπολογιστεί ότι η αναλογία αυτή είναι της τάξεως $O(n^3)$, δηλαδή 10 άτομα αντιπροσωπεύουν περίπου 1000. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι μπορούν να καλύψουν με αποδοτικό ψάξιμο μεγάλους χώρους σε μικρούς χρόνους.

9) Είναι μία μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Ο συνδυασμός αυτός σπάνια συναντάται σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Με το τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου, αλλά δεν γίνεται εκμετάλλευση της πληροφορίας. Αντίθετα, με το hill-climbing γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας, αλλά όχι καλή εξερεύνηση. Συνήθως τα δύο αυτά

χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά και το επιθυμητό είναι να συνυπάρχουν και τα δύο προς όφελος της όλης διαδικασίας. Οι Γ.Α. επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης, πράγμα που τους κάνει ιδιαίτερα αποδοτικούς και ελκυστικούς.

10) Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση. Οι Γ.Α. μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών, αφού λόγω της φύσης τους, εύκολα μπορούν να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση. Το χαρακτηριστικό αυτό αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους, ενώ σπάνια συναντάται σε ανταγωνιστικές μεθόδους. [5]

4.6 Τι Προκαλεί Δυσπιστία

Η τεχνολογία των γενετικών αλγόριθμων, αν και δεν αποτελεί πρόσφατη ανακάλυψη, άρχισε ουσιαστικά να εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια. Η δυσπιστία με την οποία αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες το όλο θέμα έχει αρχίσει πλέον να υποχωρεί.. Ποιοι είναι όμως οι κυριότεροι λόγοι που ίσως θα μπορούσαν να σταθούν εμπόδιο στην εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας;

1) Προβλήματα εξοικείωσης με τη Γενετική. Για τους περισσότερους, που ασχολούνται με την Επιστήμη των Υπολογιστών, οι έννοιες της Εξέλιξης και της Φυσικής Επιλογής μπορεί να μην ηχούν παράξενα, αλλά δεν είναι και από τις πιο οικείες. Η Βιολογία δεν έχει άμεση σχέση με τους υπολογιστές, γι' αυτό και οι γνώσεις σχεδόν όλων είναι σε πολύ γενικό επίπεδο. Παρ' όλ' αυτά, δεν απαιτούνται γνώσεις Γενετικής και Βιολογίας. Εκείνο που συμβαίνει με τους Γ.Α. είναι ότι μιμούνται με αφαιρετικό τρόπο κάποιες διαδικασίες που παρατηρούνται στη φύση, χωρίς να ενδιαφέρει σε μεγάλο βαθμό λεπτομέρεια η λειτουργία τους και χωρίς να είναι απαραίτητο το γνωστικό υπόβαθρο που έχουν οι βιολόγοι για να μελετήσουν αυτά τα φαινόμενα. Οι όροι είναι δανεισμένοι από τη βιολογία με σκοπό την καλύτερη εισαγωγή και κατανόηση του θέματος και όχι την παραπομπή του μελετητή στα άγνωστα πεδία μιας ξένης επιστήμης και, τελικά, τη σύγχυσή του. Θα μπορούσε ίσως, να παραληφθεί η αναφορά στη Γενετική και να γίνει μια παρουσίαση των Γ.Α. ως "προσωπικές διαδικασίες για αναζήτηση και βελτιστοποίηση", αυτό όμως μάλλον θα έκανε τα πράγματα δυσκολότερα. Εξάλλου, είναι συνηθισμένο το φαινόμενο θεωρίες που είναι δανεισμένες από άλλες επιστήμες να διατηρούν την αυθεντική τους ορολογία (π.χ. στα Νευρωνικά Δίκτυα: νευρώνες, συνάψεις, κ.τ.λ.). Επιπλέον, το μέλλον και η εξέλιξη των Γ.Α. δεν εξαρτώνται σε καμία περίπτωση από τις αντίστοιχες θεωρίες της Βιολογίας. Το αρχικό μοντέλο είναι δανεισμένο από εκεί, όμως η εφαρμογή του στα Τεχνητά Συστήματα έγινε με πλήθος διαφοροποιήσεων, προσαρμοσμένων και "παρεκτροπών" με στόχο πάντα τη βελτίωση της απόδοσης. Πλέον, μπορούμε να μιλάμε για εξέλιξη και απογόνους των πρώτων Γ.Α. και για μια πορεία τους στο χρόνο που είναι πλήρως ανεξάρτητη και αυτοδύναμη.

2) Το πρόβλημα του χρόνου. Στη φύση ως γνωστό, η εξέλιξη λειτουργεί με ρυθμούς πολύ αργούς. Χρειάζονται να περάσουν χιλιάδες γενιές, άρα και αρκετός χρόνος, για να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά των ειδών και να διαφοροποιηθούν οι ικανότητες και η συμπεριφορά τους. Θέτουν έτσι ορισμένοι το ερώτημα: πώς είναι δυνατό ένα μοντέλο αναζήτησης λύσεων να έχει καλές επιδόσεις χρόνου, όταν είναι εμπνευσμένο από μια φυσική διαδικασία που εξελίσσεται με ρυθμούς απίστευτα αργούς; Η απάντηση εδώ είναι απλή. Κατ' αρχήν, ακόμη και στη φύση, η εξέλιξη δεν είναι από μόνη της μια αργή διαδικασία. Εξέλιξη των ειδών συμβαίνει όταν αλλάζει τα περιβάλλον τους και πρέπει να προσαρμοστούν στα καινούργια δεδομένα, ώστε να επιβιώσουν. Αλλαγές όμως του περιβάλλοντος γίνονται με πολύ αργούς ρυθμούς και κατά συνέπεια και η εξέλιξη ακολουθεί αυτούς τους ρυθμούς. Αν οι αλλαγές του περιβάλλοντος

γίνονται με γρηγορότερο τρόπο, τότε επιταχύνεται και η εξέλιξη. Αυτό άλλωστε παρατηρείται και στα βιολογικά εργαστήρια, όπου μικροοργανισμοί αλλάζουν την συμπεριφορά τους αμέσως, όταν τοποθετούνται σε νέες συνθήκες.

Επιπλέον, στο πεδίο των υπολογιστών τα άτομα κωδικοποιούνται συνήθως ως συμβολοσειρές και οι συνθήκες του περιβάλλοντος μοντελοποιούνται με απλές μαθηματικές σχέσεις. Έτσι, το μοντέλο με το οποίο δουλεύει ο υπολογιστής δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο υπολογιστικό φόρτο, συγκρινόμενο πάντα με αντίστοιχες μεθόδους. Το πλήθος των ατόμων που κάθε φορά εξετάζεται είναι από λίγες δεκάδες έως μερικές χιλιάδες, δηλαδή αρκετές τάξεις μεγέθους κάτω από το πλήθος των γονιδίων των χρωμοσωμάτων μιας έμβιας οντότητας. Ο ρυθμός που μπορούν να ζευγαρώνουν τα άτομα στους πιο γρήγορους υπολογιστές μπορεί να φτάσει το ένα εκατομμύριο ανά δευτερόλεπτο. Όσο μεγάλος και αν είναι ο χώρος που καλείται ο αλγόριθμος να ψάξει, η επεξεργασία μερικών μόνο ατόμων αρκεί, γιατί, όπως θα αναπτυχθεί και παρακάτω, τα άτομα αυτά θεωρούνται αντιπρόσωποι ολόκληρων κλάσεων. Έτσι λοιπόν, οι ταχύτητες που μπορούν να επιτύχουν οι Γ.Α. είναι πολύ υψηλές. [5]

Κεφάλαιο 5°

5.1 Περιγραφή του προβλήματος

Στην παρούσα εργασία σκοπός είναι η μελέτη ενός προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων και η βελτιστοποίηση του προβλήματος αυτού. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε αφορά τον ανεφοδιασμό ενός αριθμού πελατών από ένα κεντρικό σημείο διανομής. Το πρόβλημα αυτό το αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες επιχειρήσεις και η επίλυση του κρίνεται απαραίτητη καθώς το κόστος διανομής όπως επίσης και το κόστος αποθήκευσης αποτελούν βασικό μέρος του συνολικού κόστους των επιχειρήσεων. Τα χαρακτηριστικά του προβλήματος που μελετούμε είναι τα εξής:

- Οι πελάτες έχουν συγκεκριμένες συντεταγμένες.
- Ο κάθε πελάτης έχει συγκεκριμένη ζήτηση.
- Ο κάθε πελάτης έχει συγκεκριμένο κόστος διατήρησης των αποθεμάτων που του παραδίδονται.
- Η διανομή γίνεται από ένα συγκεκριμένο σημείο ανεφοδιασμού.
- Για τη διανομή διατίθενται συγκεκριμένος αριθμός πανομοιότυπων φορτηγών.
- Κάθε ημέρα το κάθε φορτηγό μπορεί να πραγματοποιεί μόνο μια πολλαπλή διαδρομή και εφόσον γυρίσει στο σημείο ανεφοδιασμού δεν είναι δυνατόν να ανεφοδιάσει ξανά την ίδια ημέρα.
- Η χωρητικότητα του κάθε φορτηγού είναι συγκεκριμένη και ίση με 300 μονάδες.
- Στο τέλος κάθε πολλαπλής διαδρομής το κάθε φορτηγό πρέπει να επιστρέψει στο σημείο του ανεφοδιασμού.
- Η διαδικασία του ανεφοδιασμού έχει χρονικό ορίζοντα τη μια εβδομάδα.

Βάσει των περιορισμών αυτών καλούμαστε να βρούμε πιθανές διαδρομές ανεφοδιασμού των πελατών και να βελτιστοποιήσουμε τις διαδρομές αυτές με τη χρήση ενός γενετικού αλγόριθμου.

5.2 Τρόπος επίλυσης

Το πρώτο βήμα για την επίλυση του προβλήματος είναι να υπολογίσουμε τις πιθανές διαδρομές για τον ανεφοδιασμό των πελατών. Οι μεταβάσεις προκύπτουν με τη χρήση ενός αλγόριθμου ο οποίος υπολογίζει με τη βοήθεια μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών τη σειρά των κόμβων που πρέπει να επισκεφθούμε. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν διαφορετικές πολλαπλές διαδρομές, των οποίων καλούμαστε να υπολογίσουμε το κόστος.

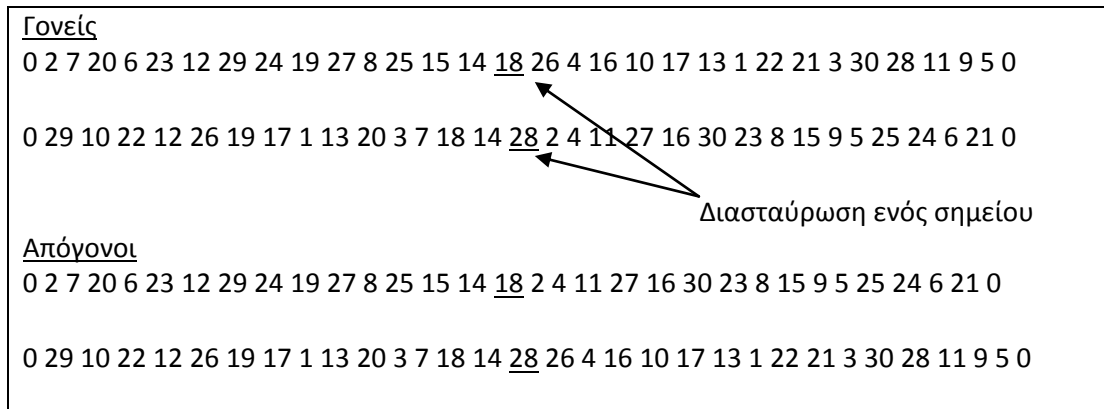
Το συνολικό κόστος της κάθε διαδρομής προκύπτει ως εξής:

Συνολικό κόστος= (κόστος διαδρομής)+ (κόστος διατήρησης των αποθεμάτων)*(ημέρες που διατηρεί ο πελάτης τα αποθέματα)

Έχοντας λοιπόν βρει τις πιθανές πολλαπλές διαδρομές καθώς και το συνολικό κόστος της κάθε διαδρομής δημιουργούμε έναν πίνακα τον οποίο ονομάζουμε πίνακα γονέων καθώς για την βελτιστοποίηση του θα χρησιμοποιήσουμε έναν γενετικό αλγόριθμο. Έχουμε λοιπόν δημιουργήσει ένα σύνολο 30 αρχικών λύσεων τις οποίες θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε. Για να έχει καλύτερα αποτελέσματα η βελτιστοποίηση του προβλήματός μας επιλέξαμε τους γονείς των οποίων το κόστος είναι μικρότερο από το μέσο όρο του συνολικού κόστους όλων των γονέων. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή 2 πιθανών πολλαπλών διαδρομών/ γονέων ώστε να

δημιουργήσουμε 2 νέες διαδρομές/ απόγονοι. Η δημιουργία των απογόνων γίνεται με τον εξής τρόπο:

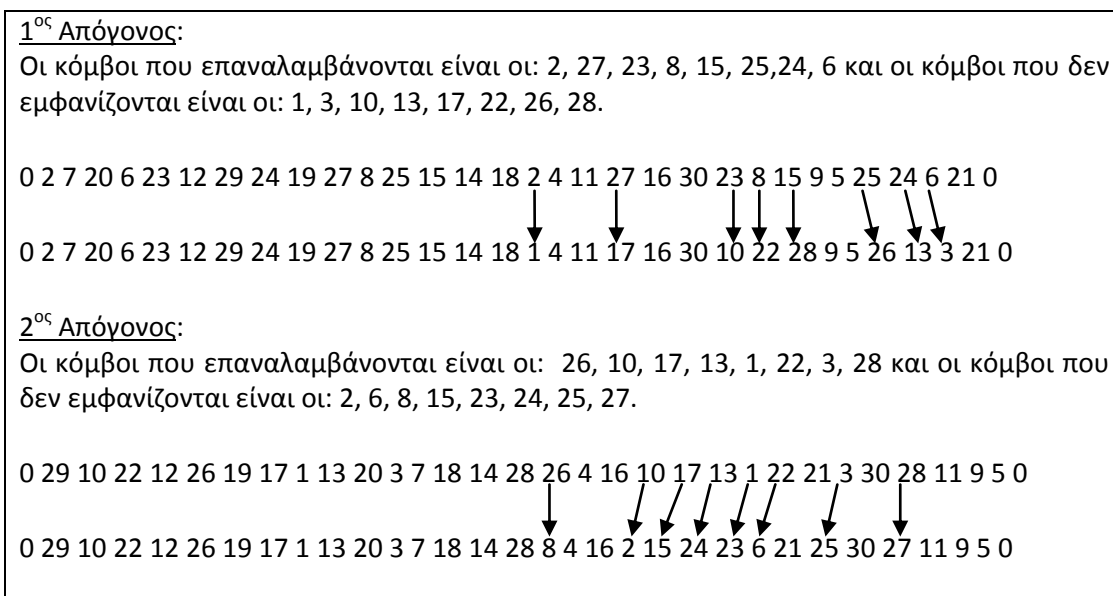
- Ο γενετικός αλγόριθμος εκτελεί διασταύρωση ενός σημείου, που σημαίνει ότι χωρίζει τον κάθε γονέα σε 2 ίσα μέρη. Στη συνέχεια το πρώτο μισό του πρώτου γονέα ενώνεται με το δεύτερο μισό του δεύτερου γονέα και το πρώτο μισό του δεύτερου γονέα ενώνεται με το δεύτερο μισό του πρώτου γονέα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.1).



(Σχήμα 5.1)

Οι λύσεις/ απόγονοι όμως που έχουν προκύψει περιλαμβάνουν κάποιους κόμβους/ πελάτες 2 φορές και κάποιους άλλους καμία φορά οπότε θα χρησιμοποιήσουμε τη γενετική μετάλλαξη ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλοι οι κόμβοι στην συνολική διαδρομή.

- Βρίσκουμε ποιό κόμβοι εμφανίζονται παραπάνω από μια φορές και τους αντικαθιστούμε με τους κόμβους που δεν εμφανίζονται καμία φορά (σχήμα 5.2).



(Σχήμα 5.2)

Με αυτό τον τρόπο έχουν προκύψει με τη βοήθεια του γενετικού αλγόριθμου δύο νέες πολλαπλές διαδρομές των οποίων υπολογίζουμε τα συνολικά κόστη.

- Βάσει του συνολικού κόστους συγκρίνουμε τους απογόνους με τους γονείς και σε περίπτωση που το κόστος του ενός ή και των δύο απογόνων είναι μικρότερο από αυτό των γονέων, οι γονείς αντικαθίστανται από τους απογόνους τους.
- Η διαδικασία αυτή έχουμε επιλέξει να επαναληφθεί 30 φορές, κάτι το οποίο είναι στην κρίση του κάθε μελετητή.

Με την εκτέλεση του γενετικού αλγόριθμου και την ολοκλήρωση του έχουμε πλέον δημιουργήσει έναν πίνακα νέων γονέων, γονέων που έχουν προκύψει από την αντικατάσταση των αρχικών γονέων από απογόνους μικρότερου κόστους.

5.3 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Με τη μέθοδο που αναλύσαμε προηγουμένως καταφέραμε να μειώσουμε το συνολικό κόστος των περισσότερων πολλαπλών διαδρομών που είχαμε αρχικά. Ο λόγος που δεν μειώθηκε το κόστος όλων των διαδρομών είναι ότι η επιλογή της διαδρομής προς ελαχιστοποίηση γίνεται με τυχαίο τρόπο στον κώδικα που αναπτύξαμε, το οποίο σημαίνει ότι είναι πιθανό κάποιες διαδρομές να μην επιλεγθούν ώστε να γίνει η διαδικασία ελαχιστοποίησης τους. Επίσης, υπάρχει πιθανότητα μια διαδρομή που επιλέγεται να συνδυαστεί με μια άλλη ώστε να προκύψουν δύο νέες διαδρομές (απόγονοι) να έχει μικρότερο κόστος από τις διαδρομές που θα προκύψουν.

Αρχικά εξετάζουμε την περίπτωση όπου έχουμε να ανεφοδιάσουμε 30 πελάτες, έχοντας στη διάθεση μας 3 πανομοιότυπα φορτηγά χωρητικότητας 300 μονάδων το κάθε ένα.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.3) παρουσιάζονται τα κόστη των διαδρομών όπως αυτά εξελίσσονται κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων του γενετικού αλγόριθμου, καθώς και ο μέσος όρος του κόστους όλων των διαδρομών της κάθε επανάληψης. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα κόστη που μειώθηκαν με τη χρήση του γενετικού αλγόριθμου.

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ												
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	87058	87058	87058	87058	87058	87058	87058	87058	87058	87058	86425
	1	88328	88328	88328	88328	88328	88328	88328	88328	88328	88328	88328
	2	82750	82750	82750	82750	82750	82750	82750	82750	82750	82750	82750
	3	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768
	4	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407
	5	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731
	6	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799
	7	89315	89315	89315	89315	82654	82654	82654	82654	79788	79788	79788
	8	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860
	9	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564
	10	84955	84955	84955	84955	84955	84955	84955	79788	79788	79788	79788
	11	90805	90805	90805	90805	90805	83905	83905	83905	83905	83905	83905
	12	89957	89957	89957	89957	89957	89957	89957	89957	89957	89957	89957
	13	89813	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701
	14	90599	90599	90599	90599	90599	90599	90599	90599	90599	90599	90599
	15	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786
	16	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924
	17	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936
	M.O.	87242	87014	87014	87014	86643	86260	86260	85973	85814	85814	85779

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425
	1	88328	88328	88328	88328	87140	87140	87140	87140	87140	87140
	2	82750	82750	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659
	3	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768
	4	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407	83407
	5	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731
	6	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799
	7	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	8	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860
	9	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564	89564
	10	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	11	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905
	12	89957	89957	89957	89957	89957	87400	87400	87400	87400	87400
	13	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701
	14	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588
	15	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786
	16	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	86924	83039	83039
	17	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936
	M.O.	85223	85223	85217	85217	85151	85009	85009	85009	84794	84794

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425
	1	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140
	2	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659
	3	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768
	4	83407	83407	83407	83407	83180	83180	83180	83180	83180	83180
	5	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731
	6	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	86799	82720	82720
	7	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	8	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860
	9	89564	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508
	10	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	11	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905
	12	87400	87400	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101
	13	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701	85701
	14	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588
	15	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786	84786
	16	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039
	17	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936
	M.O.	84794	84679	84496	84496	84483	84483	84483	84483	84257	84257

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	1	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425	86425
	2	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140	87140
	3	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659	82659
	4	90768	90768	90768	90768	90768	90768	90768	87198	87198	87198
	5	83180	83180	83180	83180	83180	83180	83180	83180	83180	83180
	6	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731	80731
	7	82720	82720	82720	82720	82720	82720	82720	82720	82720	82720
	8	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	9	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860	86860
	10	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508	87508
	11	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788	79788
	12	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905	83905
	13	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101	84101
	14	85701	85701	85701	81696	81696	81696	81696	81696	81696	81696
	15	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588	80588
	16	82004	82004	82004	82004	82004	82004	82004	82004	82004	82004
	17	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039	83039
	18	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936	86936
	M.O.	84102	84102	84102	83880	83880	83880	83880	83681	83681	83681

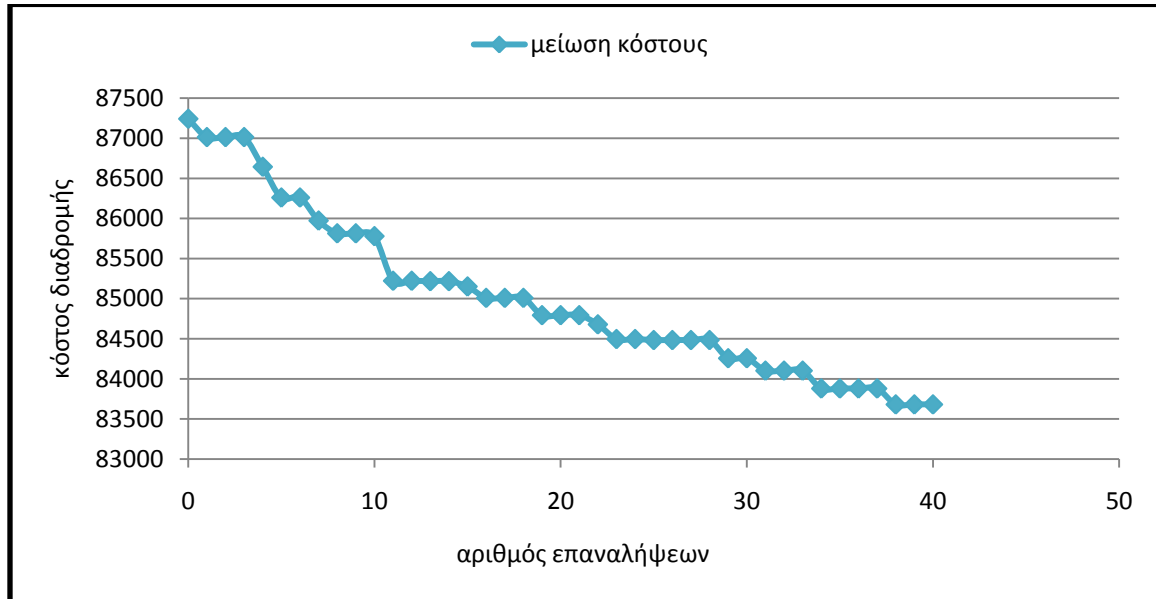
(Σχήμα 5.3)

Συγκρίνοντας τα αρχικά με τα τελικά κόστη παρατηρούμε ότι οι νέες πολλαπλές διαδρομές παρουσιάζουν σημαντική μείωση όσον αφορά το κόστος. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.4) παρουσιάζονται τα κόστη των αρχικών διαδρομών, τα κόστη των τελικών διαδρομών καθώς και η μείωση του κόστους που έχει επιτευχθεί.

ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ (%)
87058	86425	633	-0.73
88328	87140	1188	-1.34
82750	82659	91	-0.11
90768	87198	3570	-3.93
83407	83180	227	-0.27
80731	80731	0	0.00
86799	82720	4079	-4.70
89315	79788	9527	-10.67
86860	86860	0	0.00
89564	87508	2056	-2.30
84955	79788	5167	-6.08
90805	83905	6900	-7.60
89957	84101	5856	-6.51
89813	81696	8117	-9.04
90599	80588	10011	-11.05
84786	82004	2782	-3.28
86924	83039	3885	-4.47
86936	86936	0	0.00

(Σχήμα 5.4)

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρούμε τη μείωση του μέσου κόστους των γονέων όσο ο γενετικός αλγόριθμος επαναλαμβάνεται.



Όπως βλέπουμε καταφέραμε μετά από 40 επαναλήψεις να μειώσουμε το μέσο κόστος των διαδρομών κατά 3561 μονάδες.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε την περίπτωση όπου είμαστε υπεύθυνοι για τον ανεφοδιασμό 50 πελατών, διαφορετικών από αυτών που εξετάσαμε στην προηγούμενη περίπτωση. Αρχικά κρίνεται απαραίτητη η χρήση περισσότερων φορτηγών, καθώς και οι πελάτες είναι περισσότεροι αλλά και η ζήτηση τους είναι μεγαλύτερη από αυτή των προηγούμενων πελατών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε την παράδοση των ζητούμενων προϊόντων σε χρονικό ορίζοντα μίας εβδομάδας, κάτι που θα ήταν ανέφικτο με τη χρήση μόνο τριών πανομοιότυπων φορτηγών. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε 7 φορτηγά, χωρητικότητας 300 μονάδων το καθένα. Το πρόβλημα του χρονικού περιορισμού θα μπορούσε επίσης να αντιμετωπιστεί με τη χρήση φορτηγών μεγαλύτερης χωρητικότητας αντί αυτών που έχουν χωρητικότητα 300 μονάδων. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.5) παρουσιάζονται τα κόστη των αρχικών διαδρομών, και τα κόστη των διαδρομών που προέκυψαν κατά τη βελτιστοποίηση τους με τη χρήση του γενετικού αλγόριθμου.

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ												
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΥΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	189359	189359	169133	169133	169133	169133	169133	169133	169133	169133	169133
	2	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562
	3	180459	180459	180459	180459	180459	180459	180459	180459	180459	180459	180459
	4	182950	182950	182950	182950	182950	182950	180796	180796	180796	180796	180796
	5	176103	176103	176103	176103	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092
	6	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299
	7	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180
	8	188323	188323	188323	188323	188323	188323	188323	187696	187696	187696	187696
	9	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909
	10	190998	183147	183147	183147	183147	183147	183147	183147	183147	183147	183147
	11	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059
	12	179640	179640	179640	179640	179640	179640	179640	179640	179640	179640	177955
	13	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868
	14	186679	186679	186679	186679	186679	186679	177911	177911	177911	177911	177911
	15	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633
	M.O.	179535	179011	177663	177663	176929	176929	176785	176201	176159	176159	176047

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΥΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	1	169133	169133	169133	169133	169133	169133	169133	169133	167346	167346
	2	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562
	3	176182	176182	176182	176182	176182	176182	176182	176182	176182	176182
	4	180796	180796	180796	180796	180796	176533	176533	176533	176533	176533
	5	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092
	6	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299	181299
	7	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180
	8	187696	187696	187696	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533
	9	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909
	10	183147	183147	183147	183147	183147	183147	180676	180676	180676	180676
	11	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059
	12	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955
	13	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868
	14	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911
	15	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633
	M.O.	175761	175761	175761	175017	175017	175017	174733	174568	174449	174449

ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ											
ΚΟΣΤΟΣ ΠΟΛΥΤΗΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	1	167346	167346	167346	167346	167346	167346	167346	167346	167346	167346
	2	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562	174562
	3	176182	176182	170472	170472	170472	170472	170472	170472	170472	170472
	4	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533
	5	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092	165092
	6	162539	162539	162539	162539	162539	162539	162539	162539	162539	162539
	7	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180	174180
	8	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533	176533
	9	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909	186909
	10	180676	180676	180676	180676	180676	180676	180676	180676	166993	166993
	11	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059	165059
	12	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955	177955
	13	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868	165868
	14	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911	177911
	15	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633	170633
	M.O.	173199	173199	172818	172818	172818	172818	172818	172818	171906	171906

(Σχήμα 5.5)

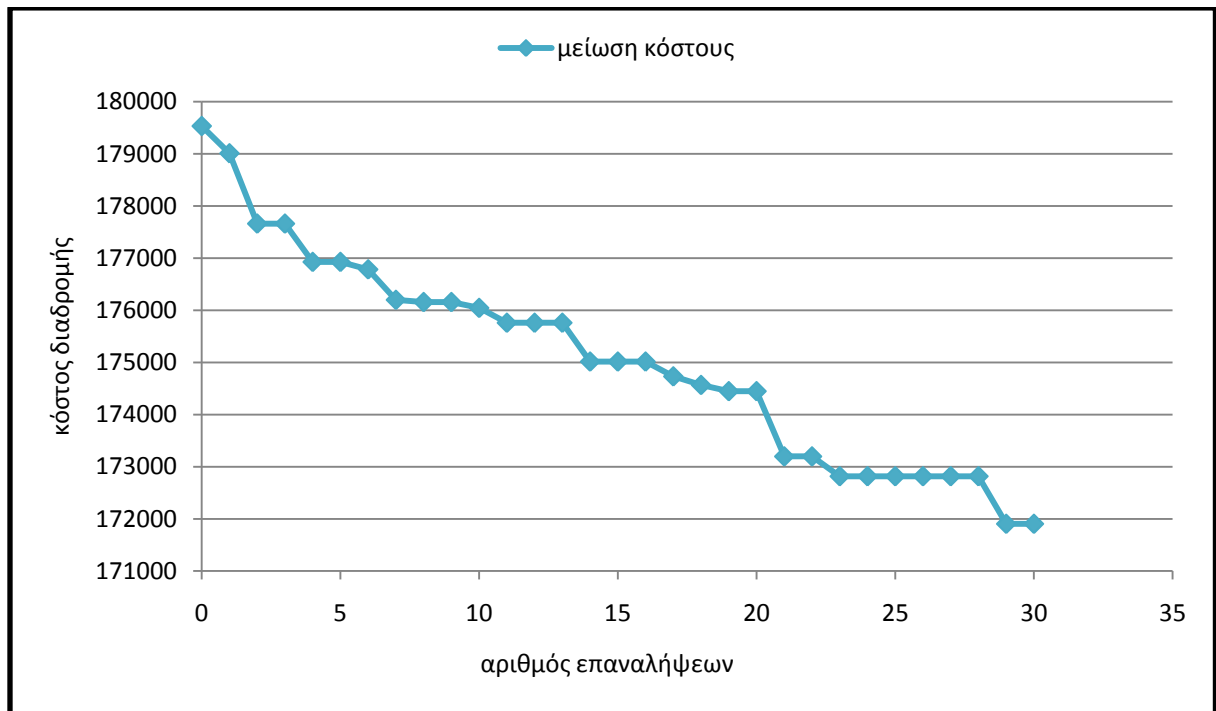
Και σε αυτή την περίπτωση η βελτίωση που επιτεύχθηκε όσον αφορά το κόστος είναι σημαντική και μάλιστα είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του κόστους που επιτύχαμε στην περίπτωση των 30 πελατών. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 5.6) παρουσιάζεται το κόστος των αρχικών διαδρομών, το κόστος των διαδρομών που υπολογίστηκαν από τον γενετικό αλγόριθμο, καθώς και η μείωση του κόστους που επέφεραν οι νέες αυτές διαδρομές.

ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ (%)
189359	167346	22013	-11.63
174562	174562	0	0.00
180459	170472	9987	-5.53
182950	176533	6417	-3.51
176103	165092	11011	-6.25
181299	162539	18760	-10.35
174180	174180	0	0.00
188323	176533	11790	-6.26
186909	186909	0	0.00
190998	166993	24005	-12.57
165059	165059	0	0.00
179640	177955	1685	-0.94
165868	165868	0	0.00
186679	177911	8768	-4.70
170633	170633	0	0.00

(Σχήμα 5.6)

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι κάποιες από τις αρχικές διαδρομές δεν αντικαθίστανται από νέες, μικρότερου κόστους, γεγονός που όπως αναφέραμε και προηγουμένως μπορεί να οφείλεται είτε στην τυχαιότητα με την οποία επιλέγει ο αλγόριθμός να βελτιστοποιήσει μια διαδρομή, είτε γιατί η υπάρχουσα διαδρομή δεν επιδέχεται περαιτέρω βελτίωση.

Τέλος, στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζουμε το μέσο κόστος των διαδρομών και πως αυτό μεταβάλλεται κατά τις επαναλήψεις του γενετικού αλγόριθμου, κατά τη διάρκεια δηλαδή του υπολογισμού των νέων βέλτιστων διαδρομών.



Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα η βελτίωση του κόστους των διαδρομών είναι αρκετά σημαντική. Συγκεκριμένα, καταφέραμε στην περίπτωση αυτή να μειώσουμε το μέσο κόστος των διαδρομών κατά 7629 μονάδες. Η μείωση αυτή θα μπορούσε να είναι ακόμα μεγαλύτερη εάν επαναλαμβάναμε τον γενετικό αλγόριθμο περισσότερες φορές. Αυτό είναι και το βασικό μειονέκτημα των γενετικών αλγόριθμων, το γεγονός ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε μετά από πόσες επαναλήψεις θα επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα και αν τελικά θα επιτευχθεί κάποια βελτίωση.

Παράρτημα

Δεδομένα προβλήματος 30 κόμβων

- Αριθμός Κόμβων (Πελατών): 30
- Διαθέσιμα οχήματα: 3
- Χωρητικότητα του κάθε οχήματος: 300 μονάδες
- Χρονικός Ορίζοντας: 7 ημέρες

Αριθμός Κόμβου	Τετμημένη (x)	Τεταγμένη (y)	Ζήτηση	Κόστος Διατήρησης Αποθεμάτων
0	300	300	0	0
1	279	433	37	5
2	525	543	18	3
3	482	235	20	5
4	179	54	49	4
5	331	416	24	5
6	562	145	4	3
7	448	575	36	2
8	583	169	13	2
9	252	518	6	1
10	616	578	24	5
11	375	35	14	4
12	506	149	27	5
13	54	130	44	2
14	295	419	10	1
15	390	157	16	5
16	34	50	33	3
17	51	26	26	3
18	671	642	44	4
19	80	348	20	4
20	647	275	39	3
21	194	559	10	4
22	242	15	46	4
23	377	649	25	4
24	353	386	47	3
25	273	585	30	4
26	480	19	48	1
27	210	173	7	5
28	143	314	14	1
29	305	626	32	2
30	611	8	5	1

Δεδομένα προβλήματος 50 κόμβων

- Αριθμός Κόμβων (Πελατών): 50
- Διαθέσιμα οχήματα: 7
- Χωρητικότητα του κάθε οχήματος: 300 μονάδες
- Χρονικός Ορίζοντας: 7 ημέρες

Αριθμός Κόμβου	Τετμημένη (x)	Τεταγμένη (y)	Ζήτηση	Κόστος Διατήρησης Αποθεμάτων
0	300	300	0	0
1	236	199	147	4
2	324	649	84	5
3	417	82	546	2
4	48	49	273	1
5	674	66	455	2
6	336	52	469	4
7	132	519	133	4
8	649	75	21	4
9	215	79	217	5
10	120	551	112	4
11	240	73	546	5
12	380	138	28	3
13	444	617	553	5
14	177	354	112	2
15	313	338	245	4
16	486	252	14	3
17	59	143	35	5
18	477	351	546	1
19	627	11	504	2
20	66	698	133	5
21	492	488	84	1
22	81	42	287	5
23	642	87	301	4
24	247	334	56	5
25	57	344	420	2
26	94	57	476	1
27	630	570	49	2
28	419	573	98	3
29	173	310	14	5
30	147	683	210	1

Αριθμός Κόμβου	Τετμημένη (x)	Τεταγμένη (y)	Ζήτηση	Κόστος Διατήρησης Αποθεμάτων
31	481	183	28	3
32	679	204	455	3
33	640	646	168	4
34	169	628	476	4
35	590	12	84	2
36	689	195	112	1
37	669	57	245	5
38	322	71	434	1
39	84	511	364	5
40	30	207	91	4
41	694	460	182	4
42	368	395	119	2
43	410	276	91	1
44	582	48	28	3
45	42	658	336	5
46	595	639	532	5
47	105	131	273	3
48	173	688	322	3
49	598	374	175	2
50	669	368	322	2

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Ιωάννης Μαρινάκης – Αθανάσιος Μυγδαλάς: “Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας”, Εκδόσεις Σοφία, 2008
2. Ιωάννης Μαρινάκης – Αθανάσιος Μυγδαλάς: “Συνδυαστική Βελτιστοποίηση”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2004
3. Στρατάκη Χρυσάνθη: Διπλωματική Εργασία “Μεθευρετικός Αλγόριθμος για την επίλυση του σύνθετου προβλήματος χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων (Location Routing Problem)”, 2010
4. Ι. Βλαχάβας – Π. Κεφαλός – Ν. Βασιλειάδης – Φ. Κόκκορας – Η. Σακελλαρίου: “Τεχνητή Νοημοσύνη – Β’ Έκδοση”
5. Ευστράτιος Φ. Γεωργόπουλος – Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης: “Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγορίθμους”, Πάτρα, 1999
6. Αγαλιανός Φώτης: Διπλωματική εργασία “Βελτιστοποίηση κόστους στην αλυσίδα διανομής προϊόντων super market”, 2009

Ξένη βιβλιογραφία

7. Patrick Jaillet – Jonathan F. Bard – Liu Huang – Moshe Dror: “Delivery Cost Approximations for Inventory Routing Problems in a Rolling Horizon Framework”, Transportation Science, June 2001
8. El-Houssaine Aghezzaf – Birger Raa – Hendrik Van Landeghem: “Modeling inventory routing problems in supply chains of high consumption products”, University of Ghent, 2005
9. Srivastava, Rajesh, 1986. “Algorithms for solving the location-routing problem”. Ph. D. Dissertation, The Ohio State University.
10. Paolo Toth, Daniele Vigo, “The Vehicle Routing Problem”, Siam, 2002
11. Melanie Michel: “An introduction to genetic algorithms”, M.I.T. Press, 1998

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

12. http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article_id=1315
13. <http://www.logistics.org.gr/4/27/136/>
14. <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>